République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة

فرنسيس جانسون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Matériaux & Structures

Thème

Etude en APD d`un tronçon de la 3eme Rocade sur 10 *KM* du *PK* 30+000 au *PK* 40+000 avec la conception d`un échangeur au *PK* 34+678

Présenté par :

KHODJA Youcef
BOULAZIZ Mehdi

Encadré par :

ING.N. SALEM

Promotion 2023/2024

© ENSTP-FJ - Garidi - Vieux Kouba


بسم الله الرحمن الرحيم

Dédicace

Avant tout, je tiens tous d'abord de remercier ALLAH de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour arriver à ce point afin de réaliser ce modeste travail.

Que je dédie :

A celle qui a passé sa vie pour mon confort et mes études, qui a fait de moi un homme fort, mon refuge après Allah, ma joie et mon bonheur, ma chère Maman : **NOURA**.

A celle qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, qui m'a guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin,

Mon cher Papa : **ABD-ELKHIR**.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'affection et l'amour que j'éprouve envers vous.

Puisse ce travail être une légère récompense de vos soutiens moraux et tous vos sacrifices pour assurer mon bien être et mon éducation.

Que dieu vous garde et protège pour nous et vous accorde la santé et le bonheur.

Merci du fond du cœur.

A mon point faible le miel de notre maison mes chères sœurs :

YOUSRA et **BOUCHRA**.

A mon soutien et mon grand frere : **IBRAHIM.**

KHODJA

Dédicace

Avant tout, je tiens tous d'abord de remercier ALLAH de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour arriver à ce point afin de réaliser ce modeste travail.

Que je dédie :

A celle qui a passé sa vie pour mon confort et mes études, qui a fait de moi un homme fort, mon refuge après Allah, ma joie et mon bonheur, ma chère **Maman** : **ZINA**

A celle qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, qui m'a guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin,

Mon cher **PAPA** : **RABBEH**

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'affection et l'amour que j'éprouve envers vous.

Puisse ce travail être une légère récompense de vos soutiens moraux et tous vos sacrifices pour assurer mon bien être et mon éducation.

Que dieu vous garde et protège pour nous et vous accorde la santé et le bonheur.

Merci du fond du cœur.

A mon point faible le miel de notre maison ma chère sœur :

MEHDIA

A mon soutien et mon grand frère : **TAREK.**

BOULAZIZ

Remerciements

*Nous sommes profondément reconnaissant envers **Dieu** qui nous a donné la patience pour accomplir notre travail et atteindre nos objectifs.*

*Nous tenons également à exprimer nos sincères gratitudes envers notre encadreur **Noredine SALEM** pour sa direction sage et son soutien constant tout au long de l'élaboration de ce mémoire, Ses conseils avisés et son dévouement ont été une source d'inspiration pour nous.*

*Enfin, je suis reconnaissant envers nos famille **KHODJA** et **BOULAZIZ** et mes amis pour leur soutien.*

*Je souhaite également remercier chaleureusement notre école **ENSTP**, ainsi que tous les enseignants et nos collègues, pour leur soutien et leur encouragement tout au long de ce parcours.*

Nous exprimons notre profonde gratitude envers les membres du jury pour l'attention qu'ils ont accordée à notre travail, ainsi que pour leurs contributions précieuses qui l'ont enrichi.

Résume :

L'objectif de mon travail consiste à étudier un tronçon autoroutier de la **3eme** Rocade d`ALGER, qui s'étend sur une longueur de **10 km** de **PK 30+000 PK40+000** (route unidirectionnelle). Ce projet vise à développer le réseau routier en Algérie.

Le travail est organisé en plusieurs phases distinctes, débutant par une introduction générale pour exposer le contexte et les objectifs du projet autoroutier d`un tronçon de la 3eme Rocade. Ensuite, une analyse du trafic est prévue pour dimensionner la chaussée. Les caractéristiques géométriques de la nouvelle autoroute sont étudiées pour assurer la sécurité et la fluidité du trafic, suivies d'une évaluation géotechnique pour garantir la stabilité du sol. Une étude hydraulique est traitée pour évacuer les eaux de pluie et souterraines, et le calcul des cubatures est effectué pour estimer les volumes de terre à déplacer. La conception d`un échangeur est ensuite fait pour faciliter la circulation des véhicules. Les conceptions des ouvrages d'art comme des ponts ou passages inférieurs est envisagée pour surmonter d'éventuels obstacles. Enfin, un devis quantitatif et estimatif est établi pour définir un budget précis, et le travail se conclut par une synthèse des principales conclusions et recommandations pour la mise en œuvre future.

Mots clés : Rocade, route unidirectionnel, chaussée, ouvrage d`art, échangeur, trafic**.**

Summary:

The objective of my work is to study a highway section of the **3rd** Ring Road in Algiers, which extends over a length of **10 km** from **PK 30+000** to **PK 40+000** (one-way road). This project aims to develop the road network in Algeria.

The work is organized into several distinct phases, beginning with a general introduction to outline the context and objectives of the highway project for a section of the 3rd Ring Road. Next, a traffic analysis is planned to dimension the roadway. The geometric characteristics of the new highway are studied to ensure traffic safety and flow, followed by a geotechnical assessment to guarantee soil stability. A hydraulic study is conducted to manage rainwater and groundwater, and earthwork calculations are performed to estimate the volumes of soil to be moved. The design of an exchanger is then carried out to facilitate vehicle movement. Designs for civil engineering structures such as bridges or underpasses are considered to overcome any potential obstacles. Finally, a quantitative and cost estimation is established to define an accurate budget, and the work concludes with a summary of the main findings and recommendations for future implementation.

Keywords: ring road, one-way road, pavement, bridges, exchanger.

ملخص:

الهدف من عملي هو دراسة قسم من الطريق السريع للحلقة الثالثة في الجزائر، الذي يمتد على طول 10 كيلومتر من (طريق في اتجاه واحد). يهدف هذا المشروع إلى تطوير شبكة الطرق في الجزائر.

ينظم العمل إلى عدة مراحل متميزة، تبدأ بمقدمة عامة لتوضيح السياق والأهداف لمشروع الطريق السريع لقسم من الحلقة الثالثة. بعد ذلك، يتم التخطيط لتحليل حركة المرور لتحديد أبعاد الطريق. تدرس الخصائص الهندسية للطريق السريع الجديدة لضمان سلامة المرور وسلاسته، تليها تقييم هندسي لضمان استقرار التربة. يتم إجراء دراسة هيدروليكية لإدارة مياه الأمطار والجوفية، ويتم إجراء حسابات لتقدير حجم التربة المراد نقلها. ثم يتم تصميم تقاطع لتسهيل حركة المركبات. يتم النظر في تصميم هياكل الهندسة المدنية مثل الجسور أو الممرات السفلية للتغلب على أي عقبات محتملة. وأخيرًا، يتم إنشاء تقدير كمي و تكلفة لتحديد ميزانية دقيقة.

الكلمات المفتاحية: الحلقة، طريق في اتجاه واحد، طريق معبد، الجسور، مبادل.

Abréviation

- **APD :** Avant-Projet Détaillé
- **BAU :** Bande d'Arrêt d'Urgence
- **BB :** Béton Bitumineux
- **BDD :** Bande Dérasée droite
- **BDG :** Bande Dérasée Gauche
- **BM :** Bande Médiane
- **BV :** Bassin Versant
- **CBR :** California Bearing Ratio
- **Cr :** Coefficient de Ruissellement
- **GB :** Grave Bitume
- **GNT :** Grave Non Traité
- **GTR :** Guide du terrassement routier.
- **IL :** Indice de liquidité
- **IP :** Indice de Plasticité
- **PK :** Point kilométrique
- **PL :** Poids Lourd
- **Pm :** Périmètre mouillée
- **Rm :** Rayon Minimal
- **RN** : Route nationale.
- **Rnd :** Rayon Minimal Non Déversé
- **RP :** Réseau Principal
- **SC :** Sondage carotté.
- **Sm :** Surface mouillée
- **TCE :** Trafic Cumulé en Norme en Essieux équivalent de 13 tonnes
- **TJMA :** Trafic Journalier moyen annuel
- **TPC :** Terre-Plein Central
- **TPL :** Trafic de poids lourds.
- **Uvp :** Unités des Véhicules Particuliers
- **V_B :** Vitesse de Base
- **W_L :** Limite de Liquidité
- **W_n :** Teneur en eau naturel
- **W_P :** Limite de Plasticité

Liste des figures

Figure II. 1 : Trace de la 3eme rocade d'Alger. 4
Figure II. 2 : La situation géographique de la wilaya de Tipaza. 5
Figure II. 3 : Réseau routier de la wilaya de TIPAZA. 7
Figure IV. 1 : les éléments d'un tracé en plan. 14
Figure IV. 2 : raccordements convexes. 21
Figure IV. 3 : éléments constructifs du profil en travers. 25
Figure VI. 1: L'application d'une charge roulante. 37
Figure VI. 2: Démarche du catalogue de chaussée neuve. 41
Figure VI. 3: Démarche du catalogue français. 42
Figure VI. 4 : Vérification de la structure 1 par ALIZE. 51
Figure VI. 5 : Vérification de la structure 2 par ALIZE. 53
Figure VI. 6 : Vérification de la structure 3 par ALIZE. 56
Figure VI. 7 : Vérification de la structure 4 par ALIZE. ..... .63

Figures VII.1:les bassins versants délimités en utilisant le logiciel global mapper. 67
Figures VII. 2 : caractéristique de buse**.** 80
Figures VII.3 : Caractéristiques d'un fossé. 87
Figures VIII.1 : profil en long d'un axe. 92
Figures VIII.2: résultats de calcul des cubatures. 93

Figure X.1:échangeur d'autoroute en trompette 100
Figure X.2: échangeur d'autoroute en trèfle. 100
Figure X.3: échangeur d'autoroute en turbine. 101
Figure X.4: L'échangeur en losange. 101
Figure X.5: Sortie en déboîtement 105
Figure X.6:dispositif de sortie de l'autoroute. 106
Figure X. 7: Entrée en insertion 107
Figure X.8: Dispositif d'entrée sur l'autoroute. 107
Figure X. 9:vue en plan de notre échangeur 108

Figure XII. 1 : Largeur des lignes. 114
Figure XII. 2 : Les lignes de délimitation d`une autoroute. 114

Liste des tableaux

Tableau II. 1 : Réseau routier de TIPAZA. 7
Tableau III. 1 : Coefficient d'équivalence P. 9
Tableau III. 2 : Coefficient K1. 10
Tableau III. 3 : Coefficient K2. 10
Tableau III. 4 : Coefficient de capacite théorique. 10
Tableau IV. 1 : Les valeurs minimales des rayons du tracé en plan. 17
Tableau IV. 2 : Valeurs minimales des rayons du tracé en plan. 21
Tableau IV. 3:les données de l'axe à calculer. 21
Tableau IV. 4 : Profil en travers type du notre projet. 26
Tableau V.1: Aperçu sur les résultats des puits de reconnaissance. 28
Tableau V.2 : Aperçu sur les résultats des puits de reconnaissance. 28
Tableau V.3: résultats de l'essai granulométrique. 29
Tableau V.4: résultats d'essais de la limite d'Atterberg et les valeurs du bleu de méthylène. 29
Tableau V.5*:* résultats d'Essaie Proctor normal. 30
Tableau V.6:résultats d'Essaie Proctor modifié. 30
Tableau V.7: résultats d'Essaie CBR imbibé 30
Tableau V.8: classification GTR des matériaux. 32
Tableau V. 9: Conditions d'utilisation des matériaux de déblai. 32
Tableau V.10: gite d'emprunt le plus proche a notre tracé. 34
Tableau V.11: récapitulatif des résultats des analyses au laboratoire du gîte 4. 34
Tableau V.12: conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme**.** 35
Tableau V. 13: Tableau récapitulatif des résultats des analyses au laboratoire du gîte 6. 35
Tableau VI. 1 : Coefficient d`équivalence pour chaque matériau. 40
Tableau VI. 2 : classe de trafic poids lourds 44
Tableau VI. 3 : la portance de sol-support. 44
Tableau VI. 4 : Sur classement avec couche de forme en matériau non traité. 44
Tableau VI. 5 : Coefficient d`agressivité de PL par rapport à l`essieu de référence de 13t. 45
Tableau VI. 6 : Zone climatique de Pluviométrie. 46
Tableau VI. 7 : Température équivalente θeq (°C). 46
Tableau VI. 8 : Risque adopte pour le réseau RP1. 49
Tableau VI. 9 : Valeurs de t = f(r%). 50
Tableau VI. 10 : Performance mécanique des matériaux bitumineux. 50
Tableau VI. 11 : Performances mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques. 55
Tableau VI. 12 : Les classes de (Ti) retues sont contenues. 56
Tableau VI. 13 : Les classes TCi retenues. 57
Tableau VI. 14 : Détermination des portances à court terme et à long terme. 58
Tableau VI. 15 : Amélioration de la portance 58
Tableau VI. 16 : Epaisseur de la couche de forme. 59
Tableau VI. 17 : Coefficient d'agressivité structurelle moyen du trafic. 60
Tableau VI. 18 : Nombre d'essieux équivalent utilise dans le dimensionnement des structures (En millions). 60
Tableau VI. 19 : Valeurs des risques de calcul. 60
Tableau VI. 20 : Performances mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques. 61
Tableau VI. 21 : tableau récapitulatif du corp de chaussée par les 4 méthodes. 64
Tableau VII.1 : Coefficient C1 69

Tableau VII.2: Coefficient C2. 69
Tableau VII.3: Coefficient C3. 70
Tableau VII.4: Coefficients de Montana (a et b) pour différentes périodes de retour. 71
Tableau VII. 5: Caractéristique des bassins versants. 71
Tableau VII.6: débit des bassins versants pour les périodes 10,50,100ans. 73
Tableau VII. 7: tableau récapitulatif des dimensions des dalots et buse. 87

Tableau IX. 1 : tableau récapitulatif des résultats des essais œdométriques 96
Tableau IX. 2 : Récapitulatif des calculs par la solution en élasticité du tassement du remblai. 96
Tableau IX. 3 : Résultats du calcul sur la base des données du sondage 97
Tableau IX. 4 : estimation du temps de consolidation. 97
Tableau X.1:les valeurs minimales du profil en long. 103
Tableau X.2: Les valeurs limites des paramètres du profil en long 104
Tableau X. 3: Les largeurs des composantes du profil en travers. 104
Tableau X.4: Les largeurs et pentes transversales des composantes du profil en travers. 105
Tableau X.5:pre-signalisation a la sortie en déboitement 106

Tableau XI. 1 : Caractéristique d'ouvrage 1. 110
Tableau XI. 2 : Caractéristique d'ouvrage 2. 110
Tableau XI. 3 : Caractéristique d'ouvrage 3. 111
Tableau XI. 4 : Caractéristique d'ouvrage 4. 111
Tableau XI. 5 : Caractéristique d'ouvrage 5. 111
Tableau XII. 1 : Les caractéristiques de tous les types de lignes discontinues. 113
Tableau XII. 2 : Les largeurs des modulations. 115
Tableau XIII. 1 : Routes traversé par l`autoroute. 121
Tableau XIII. 2 : Réseau de canalisation d`eau interceptée par l'autoroute. 121
Tableau XIII. 3 : Réseau des lignes électrique en vue d'être déplacé. 122

Liste des matières

CHAPITRE I : GENERALITE

I.1 Introduction : 1
I.2 Classification des routes : 1
I.2.1 Routes nationales : 1
I.2.2 Routes régionales : 1
I.2.3 Routes locales : 1
I.3 Le rôle des autoroutes pour le développement d'un pays : 1
I.4 Rôle et importance des infrastructures de transport en Algérie : 2
I.5 Réseau Autoroutier en Algérie : 2
I.6 Description du projet de la 3eme Rocade : 2

CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET

II.1 Introduction : 4
II.2 Description du projet : 4
II.3 Présentation de la Wilaya : 4
II.3.1 Situation : 4
II.3.2 Relief 5
II.3.3 Climat 6
II.3.4 Le réseau routier de la wilaya : 6
II.4 Infrastructures de base existantes : 7
II.5 Objectif du projet : 7

CHAPITRE III : ETUDE DE TRAFIC

III.1 Introduction : 8
III.2 Différente type de trafic : 8
III.2.1 Trafic normal : 8
III.2.2 Trafic dévié : 8
III.2.3 Trafic induit : 8
III.2.4 Trafic total : 8
III.3 Calcul de capacite : 8
III.3.1 Définition de la capacite : 8

III.3.2 Calcul de trafic : 9
III.3.3 Calcul de trafic effectif 9
III.3.4 Débit de pointe horaire : 10
III.3.5 Débit horaire admessible : 10
III.4 Application au projet : 11
III.4.1 Calcul de trafic journalier moyen annuel : 11
III.4.2 Calcul de trafic effectif : 11
III.4.3 Débit de pointe horaire normal : 12
III.4.4 Calcul de débit admissible : 12
III.5 Le nombre de voies : 12
III.6 Calcul de l`année de saturation : 12
III.7 Conclusion : 13

CHAPITRE IV : ETUDE GEOMETRIQUE

IV.1 Introduction : 14
IV.2 TRACE EN PLAN : 14
IV.2.1 Les éléments du profil en plan 14
IV.2.1.1 Alignements : 15
IV.2.1.2 Arcs de cercle : 15
IV.2.1.3 Courbes de raccordement progressives : 15
IV.2.2 Recommandations pour le tracé en plan : 16
IV.2.3 Choix de la catégorie et leurs vitesses appropriées : 16
IV.2.4 Valeurs des rayons : 17
IV.2.5 Enchainement des éléments du tracé en plan : 17
IV.2.6 Calcule manuel de l'axe en plan : 18
IV.3 PROFIL EN LONG : 19
IV.3.1 Déclivité : 19
IV.3.1.1 Déclivité minimum : 20
IV.3.1.2 Déclivité maximum : 20
IV.3.2 Raccordements en profil en long : 20
IV.3.2.1 Raccordement convexes (angle saillant) : 20
IV.3.2.2 Raccordement en angle concave (rentrant) : 20
IV.3.3 Valeurs limites : 21
IV.3.4 Exemple de calcule de profil en long : 21

IV.3.5 Coordination du tracé en plan et du profil en long : 23
IV.4 PROFIL EN TRAVERS : 23
IV.4.1 Les éléments du profil en travers : 23
IV.4.1.1 CHAUSSÉE : 23
IV.4.1.2 TERRE-PLEIN CENTRAL (T.P.C.) : 24
IV.4.1.3 Accotement : 24
IV.4.2 Pentes transversales : 25
IV.4.2.1 En alignement et en courbe non déversée : 25
IV.4.2.2 En courbe déversée : 25
IV.4.3 Profil en travers type du notre projet : 26

CHAPITRE V : ETUDE GEOTECHNQUE

V.1 Introduction : 27
V.2 Les moyens de reconnaissances : 27
V.3 Application sur notre projet : 27
V.3.1 Programme des investigations in situ 27
V.3.1.1 Les puits de reconnaissances : 27
V.3.1.2 Les sondages carottés : 27
V.3.2 Programme des essais au laboratoire : 27
V.3.2.1 Les puits de reconnaissance : 27
V.3.2.2 Les sondages carottés : 28
V.3.3 RESULTATS DES INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES : 28
V.3.3.1 Résultats des reconnaissances in situ : 28
V.3.3.2 Résultats des essais de laboratoire : 29
V.4 Classification du sol support (classification GTR) : 31
V.4.1 Paramètres retenus pour la classification des sols : 31
V.4.2 Condition d'utilisation des matériaux de déblai : 32
V.5 CONDITIONS D'UTILISATION LES MATERIAUX EN CDF : 34

CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DU CORP DE CHAUSSEE

VI.1 Introduction : 37
VI.2 Les différents types de chaussées : 38
VI.2.1 Chaussée souple : 38

VI.2.1.1 Couche de roulement : 38
VI.2.1.2 Couche de base : 38
VI.2.1.3 Couche de fondation : 38
VI.2.1.4 Couche de forme : 38
VI.2.2 Chaussée semi-rigide : 39
VI.2.3 Chaussée rigide : 39
VI.3 Méthodes de dimensionnements : 39
VI.3.1 Méthode CBR : 39
VI.3.2 Méthode du catalogue de chaussée neuve : 40
VI.3.3 Méthode du Catalogue français : 41
VI.4 Application au projet : 42
VI.4.1 Méthode CBR : 42
VI.4.2 Méthode du catalogue de dimensionnements de chaussées neuves : 43
VI.4.2.1 Détermination du niveau de réseau principale (RPi) : 43
VI.4.2.2 Détermination de la classe de trafic (TPLi) : 44
VI.4.2.3 Détermination de la portance de sol-support de chaussée : 44
VI.4.2.4 Calcul de trafic cumule équivalent (TCEi) : 45
VI.4.2.5 Choix de dimensionnements : 46
VI.5 Vérification en fatigue des structures et de la déformation du sol support de la structure 1 : 48
VI.5.1 Calcul de déformation admissible (ε_{zadm}) du sol support : 48
VI.5.2 Calcul de déformation admissible de traction ε_{tadm} : 48
VI.5.3 Modélisation avec ALIZE : 51
VI.6 Vérification en fatigue des structures et de la déformation du sol support de la structure 2 : 52
VI.6.1 Calcul de déformation admissible (ε_{zadm}) du sol support : 52
VI.6.2 Calcul de déformation admissible de traction (ε_{tadm}) : 52
VI.6.3 Modélisation avec ALIZE : 53
VI.7 Vérification en fatigue des structures et de la déformation du sol support de la structure 3 : 54
VI.7.1 Calcule de sollicitations admissibles : 54
VI.7.2 Calcul de déformation admissible (ε_{zadm}) du sol support : 55
VI.7.3 Modélisation avec ALIZE : 55
VI.7.4 Catalogue français : 56
VI.7.4.1 Détermination de la classe de trafic (Ti). 56
VI.7.4.2 Détermination de la classe de trafic cumulé (TCi) : 57

VI.7.4.3 Détermination des portances à court terme et à long terme les plus probables des conditions usuelles : 57
VI.7.4.4 Amélioration de la portance de l'arase : 58
VI.7.4.5 Dimensionnement des structures : 59
VI.7.4.6 Calcul de déformation admissible (ε_{zadm}) du sol support : 61
VI.7.4.7 Calcul de déformation admissible de traction ε_{tadm} : 62
VI.7.4.8 Modélisation avec ALIZE : 62
VI.8 Conclusion : 64

CHAPITRE VII : ASSAINISSEMENT

VII.1 INTRODUCTION : 66
VII.2 Conception technique des ouvrages : 66
VII.3 Présentation des bassins versants : 66
VII.4 ESTIMATIION DES DEBITS CRUES : 67
VII.4.1 Formule rationnelle : 67
VII.4.2 Temps de concentration : 67
VII.4.3 Coefficient de ruissèlement (C) : 69
VII.4.4 Intensité de pluie I(t) : 70
VII.5 ETUDE HYDROLOGIQUE : 70
VII.6 Caractéristiques physiques des bassins versants : 71
VII.7 Calcul du débit d'apports : 71
VII.7.1 Résultats de calcul de débit de notre projet : 72
VII.8 Étude hydraulique : 73
VII.8.1 Dimensionnement des ouvrages hydrauliques : 73
VII.8.1.1 Dimensionnement des dalots : 73
VII.8.1.2 Dimensionnement des buses : 80
VII.8.1.3 Résultats récapitulatifs de dimensionnement des dalots et des buses : 87
VII.8.1.4 Dimensionnement des Ouvrages de drainage Longitudinal : 87
VII.9 Conclusion : 90

CHAPITRE VIII : CALCULE DES CUBATURES

VIII.1 Cubatures : 91
VIII.2 Le calcul de cubatures : 91
VIII.3 Méthode utilisée pour calcul cubatures des terrassements : 91
VIII.3.1 Description De La Méthode CALCUL CUBATURES DES TERRASSEMENTS : 91

VIII.3.2 MÉTHODE CLASSIQUE POUR CALCUL CUBATURES DES TERRASSEMENTS : 93

CHAPITRE IX : CALCUL DU TASSEMENT

IX.1 Introduction : 94
IX.2 Évolution du tassement dans le sol : 94
IX.3 Présentation de la méthode de calcul : 94
IX.3.1 Méthode de BOUSSINESQ : 94
IX.3.1.1 Tassement immédiat : 94
IX.3.1.2 Distribution de la contrainte verticale Δσz avec la profondeur selon (BOUSSINESQ) : 95
IX.3.2 Tassement de consolidation primaire : 95
IX.3.2.1 Essai œdométrique : 95
IX.3.2.2 Paramètres et coefficients obtenus à partir de l'essai œdométrique : 95
IX.3.2.3 État de consolidation d'un sol : 96
IX.4 Résultats des essais œdométriques : 96
IX.5 Présentation d'un exemple de calcul : Remblai du PK39+185 au PK39+470 : 96
IX.5.1 Calcul par la méthode de BOUSSINESQ, modèle élastique : 96
IX.5.2 Calcul du tassement primaire par la méthode œdométrique : 97
IX.5.3 Estimation du temps de consolidation : 97
IX.6 Conclusion : 98

CHAPITRE X : CONCEPTIN D'ECHANGEUR

X.1 INTRODUCTION : 99
X.1.1 Définition d'un échangeur : 99
X.1.2 La fonction de l'échangeur : 99
X.1.3 Les différents types d'échangeurs d'autoroute 99
X.1.4 Conception d'un échangeur : 101
X.1.5 Choix du type d'échangeur : 102
X.2 Étude de trafic : 103
X.3 Géométrie en plan : 103
X.3.1 Valeurs limites des rayons : 103
X.3.2 Enchaînement des éléments du tracé en plan : 103

X.3.3 Raccordement progressif : 103
X.4 PROFIL EN LONG D'UNE BRETELLE 104
X.5 PROFIL EN TRAVERS D'UNE BRETELLE : 104
X.6 Sortie depuis la voie principale : 105
X.6.1 Implantation de la signalisation directionnelle a la Sortie en déboîtement : 105
X.6.2 La zone de décélération : 106
X.7 Entrée en insertion : 107
X.7.1 La zone d'accélération : 107
X.8 Les impacts environnementaux de la construction d'un échangeur : 107
X.9 Vue en plan du notre échangeur : 108

CHAPITRE XI : OUVRAGE D'ART

XI.1 Introduction: 109
XI.2 Choix de type de pont : 109
XI.2.1 Variante n°1 : Pont à poutres en béton armé. 109
1. Avantage : 109
XI.2.2 Variante n°2 : Pont à poutres en béton précontraint. 109
1. Avantage : 109
XI.3 Présentation des ouvrages choisi : 110

CHAPITRE XII : SIGNALISATION

XII.1 Introduction : 112
XII.2 Principes de bases de la signalisation : 112
XII.3 Rôle de la signalisation routière : 112
XII.4 Catégorie de la signalisation : 112
XII.5 Type de la signalisation : 113
XII.5.1 Signalisation horizontale : 113
XII.5.1.1 Les lignes longitudinales : 113
XII.5.1.2 Les flèches : de rabattement. 113
XII.5.1.3 Les lignes transversales : 113
XII.5.1.4 Caractéristiques générales des marques 113
XII.5.2 Signalisation Verticale : 115
XII.5.2.1 Signaux de danger : 115

XII.5.2.2 Signaux comportant une prescription absolue : 115
XII.5.2.3 Signaux à simple indication : 115
XII.5.2.4 Signaux de position des dangers : 116
XII.6 Conclusion :..... 118

CHAPITRE XIII : IMPACT SUR L'ENVIRENNEMENT

XIII.1 Introduction : 119
XIII.2 Evaluation des impacts pendant la période de chantier..... 119
XIII.2.1 Impact dû aux perturbations de la circulation 119
XIII.2.2 Impacts liés aux travaux d'aménagement des sites : 119
XIII.2.3 Impact dû à la pollution de l'air : 120
XIII.2.4 Impact dû à l'accroissement du bruit et vibrations : 120
XIII.2.5 Impact sur l'agriculture : 120
XIII.2.6 Impacts sur la faune et la flore : 120
XIII.2.7 Impacts sur le milieu humain : 121
XIII.2.8 Impacts liés aux infrastructures existantes : 121
XIII.2.9 Impacts potentiels durant la période d'exploitation : 122
XIII.2.9.1 Impact positif : 122
XIII.2.9.2 Impact Négatifs : 123
XIII.3 Conclusion :..... 123

CHAPITRE XIV : Devis quantitatif et estimatif

XIV.1 Devis quantitatif et estimatif : 124

Le secteur des travaux publics fait face à l'évolution des besoins mondiaux actuels. L'École Nationale Supérieure des Travaux Publics offre des projets de fin d'études pour obtenir le diplôme d'ingénieur d'État en tant que promoteur.

L'objectif de ce projet de fin d'études est d'appliquer les connaissances théoriques acquises lors de la formation. Il porte sur une étude de la section autoroutière en partenariat avec ADA.

Répartie en plusieurs chapitres :

- Généralité.
- Présentation de projet.
- Etude de trafic.
- Etude géométrique.
- Etude géotechnique.
- Dimensionnement de corp de chaussée.
- Assainissement.
- Calcul de cubature.
- Etude de tassement.
- Conception d`échangeur.
- Ouvrage d’art.
- Signalisation.
- Impact sur l`environnement.
- Devis quantitatif.

Et une conclusion générale a la fin.

I.1 Introduction :

Les routes jouent un rôle essentiel dans le développement économique et social des pays en tant qu'infrastructures essentielles du réseau de transport moderne.

Fabriquées dans le but de faciliter un trafic rapide et fluide, elles permettent de relier les grandes villes et les régions, rendant le transport des marchandises et des individus plus faciles.

Les routes présentent une grande diversité en ce qui concerne leur conception, leur fonction et leur importance économique. Voici un aperçu global des routes :

I.2 Classification des routes :

I.2.1 Routes nationales :

- Interconnecter les grandes villes et régions d'un pays.
- Dans la plupart des cas, elles sont larges, bien entretenues et souvent à plusieurs voies.
- Les transports de longue distance jouent un rôle crucial dans l'économie nationale.

I.2.2 Routes régionales :

- Interconnectant les communes et les villages au sein d'une région.
- Sa fonction est de relier les routes nationales aux routes locales.

I.2.3 Routes locales :

- Spécialement conçues pour les déplacements à courte distance, tels que dans les villes et les villages.
- Moins étendues et souvent moins bien prises en charge.

I.3 Le rôle des autoroutes pour le développement d'un pays :

Les autoroutes ont bouleversé les moyens de transport en diminuant considérablement les délais de trajet, en améliorant la sécurité routière grâce à des normes de construction rigoureuses et en améliorant l'accès aux zones éloignées.

Différents éléments distinguent les autoroutes : voies multiples pour séparer les flux de circulation, bretelles d'accès et de sortie pour une entrée et une sortie sécurisée, aires de repos et de service pour les usagers, systèmes de péage dans certains pays pour financer leur entretien et leur expansion. De plus, elles sont équipées de mesures de sécurité telles que des barrières de protection, des systèmes de surveillance et des marquages au sol visibles.

Dans le monde, les transports constituent une branche économique importante, ils sont nécessaires et préalables a tout d´développement économique et social des régions.

De ce fait Le développement des infrastructures de transport est étroitement lié a celui de l'économie des pays et des régions.

Aujourd'hui nous pouvons dire clairement que sans transport, il ne peut y avoir de mondialisation, le défi est double celui de mettre à disposition des infrastructures de transport a niveau de service élevé, et d'en ramener les couts de transport au plus bas possible.

Les pays développés, disposent de réseaux ramifies s'appuyant sur une intermodalité fonctionnelle entre les différents modes de transports, alors que les pays émergeants ne disposant généralement que d'axes routiers principaux, souffrent de budget pour d'abord l'entretien des réseaux existant sans citer la demande croissante en moyens financiers face aux investissements d'extension de leur réseau.

I.4 Rôle et importance des infrastructures de transport en Algérie :

En Algérie La route occupe désormais une position largement prédominante (90% des volumes d´échanges par voie terrestre) et sa part ne cesse de se renforcer au d´détriment des autres modes de transport. Il est temps de réfléchir et concrétiser le développement des autres modes de façon à assurer et répondre aux exigences que fixe la loi relative a Séminaire Mathématique de Béjaïa l'aménagement et au d´développement durable du territoire (loi 01-20 du 12 d´ec.2001).

L'Algérie est aujourd'hui en grand chantier en ce qui concerne le d´développement de ces réseaux routiers, autoroutes, ferres. Un programme fort ambitieux de réalisation de routes, autoroutes et rocades d´défini par le schéma directeur routier autoroutier horizon 2025 est en concrétisation.

Il fait appel a de gigantesques moyens sur les plans matériaux, outils de réalisation et humains.

Cependant et vu l'importance de la superficie du pays, le programme des réalisations devra se poursuivre durant plusieurs années. Dans cette présentation il sera fait un ´état des lieux, avec une prospective sur le d´développement des réseaux futurs des infrastructures de transport.

I.5 Réseau Autoroutier en Algérie :

- Les études d'APS de 1028 Km achevés ; restent les sections frontalières sur 188 Km.
- Les études d'APD de 546 Km.
- Les études d'APD à lancer à court terme : 333 Km.
- Les travaux en cours de 81 Km.
- Le lancement imminent de 21 Km.
- Le lancement avant l'an 2000 de 150 Km.

I.6 Description du projet de la 3eme Rocade :

Le projet de la 3e Rocade d'Alger consiste à établir un lien autoroutier entre Nador, dans la wilaya de Tipaza, et Bordj Menail, dans la wilaya de Boumerdes, suivant un parcours qui s'étire sur un peu plus de 140 km et qui l'amène à traverser aussi le territoire de la wilaya de Blida.

La 3e Rocade se veut donc un lien routier stratégique pour la région algéroise. Localisée au Sud de la 2e Rocade et, dans sa majeure partie, au Nord de l'autoroute Est-Ouest (sauf pour une partie des wilayas de Blida et Boumerdes), elle doit sillonner à proximité des villes et localités

situées aux environs du piedmont tellien, celles-ci étant mal desservies, puisque trop éloignées des deux premières autoroutes.

II.1 Introduction :

Il a été décidé par les autorités de procéder au prolongement du projet de la 3e Rocade d'Alger jusqu'à Tizi-Ouzou et en déplaçant le point de départ à l'Est de Nador vers l'intersection de la RN67 avec la pénétrante de Tipaza au niveau de Sidi-Rached. Le linéaire de la 3e rocade devient ainsi de 159 km.

II.2 Description du projet :

A l'issu des études menées en phase d'APS et d'APD pour la 3ème Rocade d'Alger, un tracé Optimal de 159.170 km de longueur et de direction globale Ouest-Est reliant Tipaza à Tizi Ouzou, a été recommandé.
Le tracé de la 3ème Rocade d'Alger prend son origine de Sidi Rached (Tipaza) allant jusqu'à L'Est de la ville de Draa Ben Khedda à (Tizi Ouzou). Il parcourt la zone tellienne et traverse la Wilaya de Tipaza, la Wilaya de Blida, la Wilaya de Boumerdes et aboutit à la Wilaya de Tizi-Ouzou.



Figure II. 1 : Trace de la 3eme rocade d'Alger.

Notre projet comprend l 'étude d'un tronçon de 10KM de la 3eme rocade d'Alger du PK 30+000 au PK 40+000 avec une conception d'échangeur.

II.3 Présentation de la Wilaya :

La wilaya de Tipaza est une wilaya algérienne située à 68 km à l'ouest de la capitale Alger , La population totale de la wilaya est de 630183 habitants sur une superficie de 1 707 km^2 soit une densité de 369 habitants par Km2.

II.3.1 Situation :

La wilaya de Tipaza se situe au nord du Tell central. Elle est limitée géographiquement par :

- La mer Méditerranée au nord.
- La wilaya d'Alger à l'est.
- La wilaya de Blida au sud-est.

- La wilaya d'Aïn Defla au sud.
- La wilaya de Chlef à l'ouest.

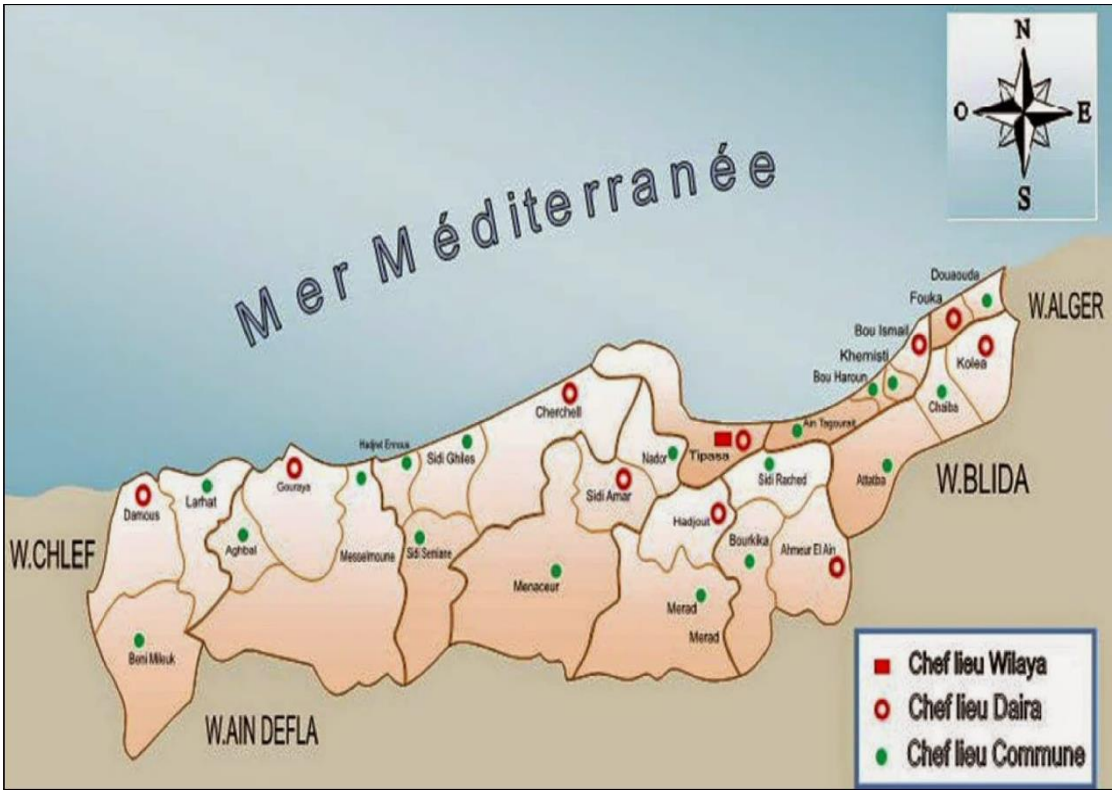


Figure II. 2 : La situation géographique de la wilaya de Tipaza.

II.3.2 Relief

Le territoire de la wilaya de Tipaza couvre une superficie de 1 707 km^2 qui se répartit en :

- Montagne : 336 km^2.
- Collines et piémonts : 577 km^2.
- Plaines : 611 km^2.
- Autres : 183 km^2.

Au nord-ouest de la Wilaya, la chaine de montagnes comprenant l'Atlas blidièen laisse la place à deux importants ensembles :

- Les monts du Dahra et du Zaccar ;
- Le mont du Chenoua.

Au nord-est, la Mitidja s'étend essentiellement sur la wilaya de Blida et se trouve limitée au niveau de la wilaya de Tipasa par le bourrelet constitué par le Sahel (Altitude Moyenne 230 m).

Au nord du Sahel un cordon littoral présente un rétrécissement et une élévation graduelle d'Est en Ouest jusqu'à disparition par endroits à Tipasa et dans les Daïras de Cherchell et Sidi

Amar où le relief très accidenté autour du mont du Chenoua présente des escarpements importants en bordure de la mer.

II.3.3 Climat

La wilaya de Tipaza se situe dans un seul étage bioclimatique subdivisé en deux variantes :

1. L'étage sub-humide caractérisé par un hiver doux dans la partie nord.
2. L'étage sub-humide caractérisé par un hiver chaud dans la partie sud.

Les précipitations moyennes enregistrées par la station de Merad font ressortir une pluviométrie moyenne annuelle de 600 mm.

Les températures varient entre 33 °C pour les mois chauds de l'été (juillet, août), à 5,7 °C pour les mois les plus froids (décembre à février).

II.3.4 Le réseau routier de la wilaya :

Le réseau routier de la wilaya de Tipasa est constitué de 1 710,565 kms dont 14,4 % de routes nationales, 15,5% de chemins de wilaya, 66% de Chemins communaux et 4,1% de routes voie Express.

La wilaya de Tipaza est desservie par plusieurs routes nationales:

- Route nationale 4 : RN4 (Route de Relizane).
- Route nationale 11 : RN11 (Route d'Oran).
- Route nationale 42 : RN42 (Route de Nadhor).
- Route nationale 66 : RN66 (Route de Khemis Miliana).
- Route nationale 67 : RN67 (Route de Hadjout).
- Route nationale 69 : RN69 (Route de Koléa).

- Autoroute Est-Ouest.

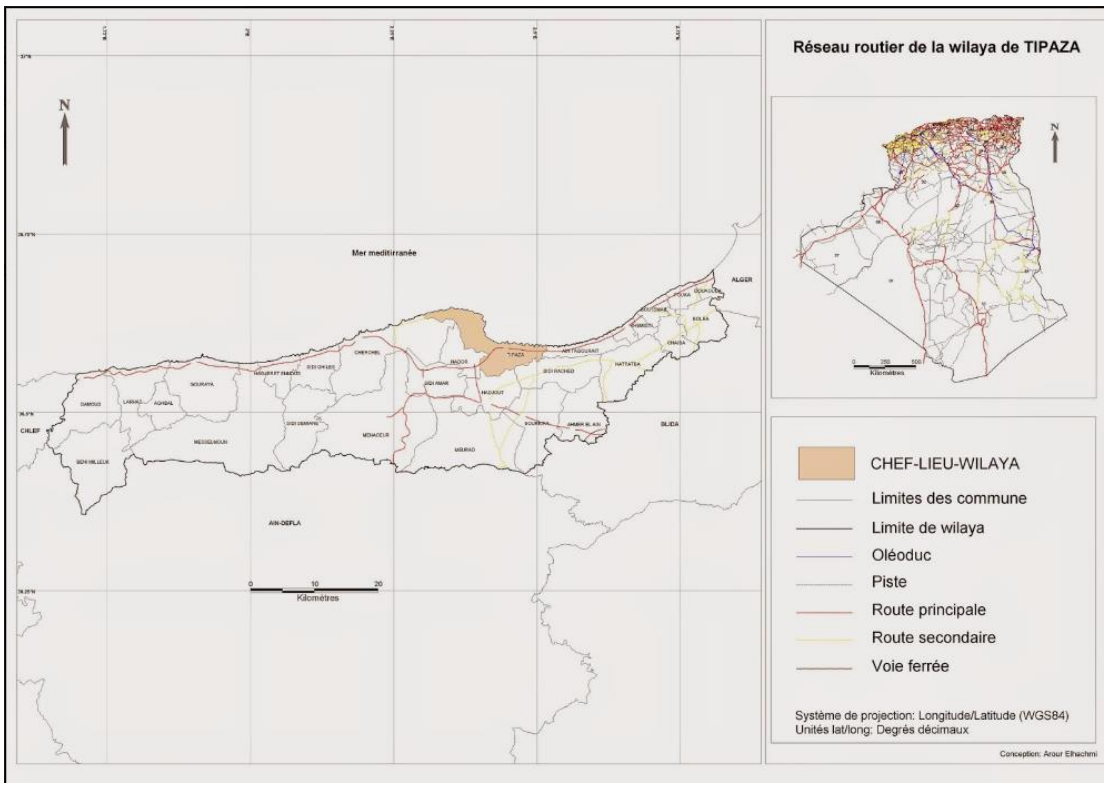


Figure II. 3 : Réseau routier de la wilaya de TIPAZA.

II.4 Infrastructures de base existantes :

- **Réseaux routiers :**

Tableau II. 1 : Réseau routier de TIPAZA.

Désignation	Longueur en (KM)
ROUTES NATIONALES	246
CHEMINS DE WILAYA	265
CHEMINS COMMUNAUX	781

II.5 Objectif du projet :

La mise en œuvre de ce projet vise deux objectifs essentiels :

✓ Un objectif global qui est de contribuer à l'amélioration du cadre de vie des populations et de renforcer la compétitivité de l'économie Algérienne en facilitant les échanges au niveau national.

✓ Un objectif spécifique qui est de faciliter la mobilité des usagers afin de résoudre les difficultés de circulation et de sécurité routière dans les zones urbaines et aussi de soulager les populations riveraines des nuisances quotidiennes dues à l'état de dégradation de la route.

III.1 Introduction :

Une analyse du trafic est une étape essentielle qui doit être effectuée avant toute réflexion concernant un projet routier. Elle offre la possibilité de mesurer l'intensité du trafic et son agressivité, notamment pour les poids lourds (PL). Il est essentiel de prendre en compte le trafic journalier moyen annuel (TJMA) et la répartition des différentes catégories de véhicules pour évaluer la dimension du corps de chaussée.

Effectivement, cette étude nous conduit à pré-dimensionner le profil en travers type qui peut supporter le volume de trafic à l'horizon (nombre de voies). Afin de créer un PTT capable de prendre en charge les charges mobiles causées principalement par les PL, il est nécessaire de mener une étude géotechnique afin de mettre en évidence la nature du sol traversé.

III.2 Différente type de trafic :

III.2.1 Trafic normal :

C'est le trafic existant sur l'ancien aménagement

III.2.2 Trafic dévié :

C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée et empruntant, sans investissement, d'autres routes vers la même destination.

III.2.3 Trafic induit :

C'est le trafic qui résulte de : Des nouveaux déplacements des personnes qui s'effectuent et qui, en raison de la mauvaise qualité de l'ancien aménagement routier, ne s'effectuaient pas antérieurement ou s'effectuaient vers d'autres destinations.

Une augmentation de production et de vente grâce à l'abaissement des coûts de production et de vente due à une facilité apportée par le nouvel aménagement routier.

III.2.4 Trafic total :

C'est le trafic sur le nouvel aménagement qui sera la somme du trafic induit, du trafic dévie, et du trafic normal.

III.3 Calcul de capacite :

III.3.1 Définition de la capacite :

La capacité d'une route correspond à la quantité de véhicules qui peuvent raisonnablement circuler en un point ou sur une section de route uniforme (ou deux directions) avec les caractéristiques géométriques et de circulation qui lui sont propres pendant une période spécifique.

III.3.2 Calcul de trafic :

La formule qui donne le trafic journalier moyen annuel à l'année horizon est :

$$T_{JMAh} = T_{JMA0} \times (1 + \tau)^n$$

Avec :

T_{JMAh} : le trafic à l'année horizon.

T_{JMA0} : le trafic à l'année de référence.

n : nombre d'année.

τ : taux d'accroissement du trafic **(%)**

III.3.3 Calcul de trafic effectif

Il s'agit de trafic traduit en unité de véhicules particulier **(uvp)**, qui varie en fonction du type de route et de l'environnement.

Les coefficients d'équivalence sont utilisés pour convertir les PL en **(uvp)**.

Le trafic effectif est donné par la relation suivante :

$$T_{eff} = [(1 - Z) + P \times Z] \times T_{JMAh}$$

Avec :

T_{eff} : trafic effectif à l'année horizon **(uvp)**.

Z : pourcentage de poids lourd.

P : coefficient d`équivalence pour le poids lourds.

Tableau III. 1 : Coefficient d'équivalence P.

Classe d`Environnement	E1	E2	E3
Route a bonne caractéristique	2-3	4-6	8-12
Route étroite	3-6	6-16	16-24

III.3.4 Débit de pointe horaire :

La fraction du trafic effectif à l'horizon est appelée débit de pointe horaire normal, qui est exprimée en unité de véhicule particulier **(uvp)** et calculée selon la formule suivante :

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) \times T_{eff}$$

Q : débit de pointe horaire.

$\frac{1}{n}$: coefficient de pointe en général 0.12.

Teff : trafic effectif.

III.3.5 Débit horaire admissible :

Le débit horaire maximal accepte par voie est déterminé par l`application suivante :

$$Q_{adm} = K_1 \times K_2 \times C_{th}$$

K1 : coefficient lie à l`environnement.

K2 : coefficient de réduction de capacite.

Cth : capacite effective par voie, qu`un profil en travers peut écouler en régime stable.

Tableau III. 2 : Coefficient K1.

Environnement	E1	E2	E3
K1	0.75	0.85	0.9 à 0.95

Tableau III. 3 : Coefficient K2.

	Catégorie de la route				
Environnement	C1	C2	C3	C4	C5
E1	1	1	1	1	1
E2	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E3	0.91	0.95	0.97	0.96	0.96

Tableau III. 4 : Coefficient de capacite théorique.

	Capacite théorique (uvp/h)
Route a 2voies de 3.5m	1500 à 2000
Route a 3voies de 3.5m	2400 a 3200
Route a chausse séparé	1500 à 1800

III.4 Application au projet :

- Le trafic a l`année 2024 $T_{JMA2024}$ = **25089 v/j/s.**
- Le taux d`accroissement annuel du trafic note **i = 3.5%**
- La vitesse de base V_b = **130 km/h**
- Le pourcentage de poids lourds $Z = 3.01\%$
- L`année de mise en service en **2027.**
- Le trafic a l`année de mise en service $T_{JMA2027}$ = **27817 v/j/s.**
- La durée de vie estimée de **20ans.**
- **P = 3** (route a bonne caractéristique).
- K_1 = **0.75** Environnement **E1** (terrain plat), K_2 = **1** Environnement **E1,** Catégorie **C1.**

III.4.1 Calcul de trafic journalier moyen annuel :

L`année de mise en service (2027).

$$T_{JMAh} = T_{JMA0} \times (1+\tau)^n$$

$$T_{JMA2027} = T_{JMA2024} \times (1+0.035)^3 = 27817 \text{ v/j/s}$$

$$T_{JMA2047} = T_{JMA2027} \times (1+0.035)^{20} = 55350 \text{ v/j/s}$$

III.4.2 Calcul de trafic effectif :

$$T_{eff} = [(1-Z) + P \times Z] \times T_{JMAh}$$

$$T_{eff2024} = [(1-0.0301) + 2 \times 0.0301] . T_{JMA2024} = 26600 \text{ uvp/j}$$

$$T_{eff2027} = [(1-0.0301) + 2 \times 0.0301] . T_{JMA2027} = 29492 \text{ uvp/j}$$

$$T_{eff2047} = [(1-0.0301) + 2 \times 0.0301] . T_{JMA2047} = 58683 \text{ uvp/j}$$

III.4.3 Débit de pointe horaire normal :

$$Q_{2024} = 0.12 \times T_{eff2024} = 3192 \text{ uvp/j}$$

$$Q_{2027} = 0.12 \times T_{eff2027} = 3540 \text{ uvp/j}$$

$$Q_{2047} = 0.12 \times T_{eff2047} = 7042 \text{ uvp/j}$$

III.4.4 Calcul de débit admissible :

$$Q_{adm} = K_1 \times K_2 \times C_{th}$$

$$Q_{adm} = 0.75 \times 1 \times 1800 = 1350 \text{ uvp/j}$$

Cth : 1800 uvp/j pour une chausse séparée.

III.5 Le nombre de voies :

Nous utilisons une section d'une autoroute à chaussée unidirectionnelle comme type de route. Le nombre de voies par chaussée correspond donc au rapport **S×Q/Qadm**, où **S** est un coefficient de dissymétrie (**en général S=2/3**) et Q_{adm} est le débit admissible par voie. Le nombre de voies **N** est de :

$$N = \frac{S \times Q}{Qadm}$$

$$N = \frac{\frac{2}{3} \times 7042}{1350} = 3.39 \approx 3$$

Une autoroute de **2× 3 voies.**

III.6 Calcul de l`année de saturation :

$$Q_{saturation} = 3 \times Q_{adm}$$

$$Q_{saturation} = 3 \times 1350 = 4050 \text{ uvp/j/s}$$

On a:

Q_{2027} = 3540 uvp/j

Q_{2027} = 2360 uvp/j/s

En utilisant la formule suivante :

$$N = \frac{\log\left(\frac{Q_{saturation}}{Q_{2027}}\right)}{\log(1.04)} = \frac{\log(1.72)}{\log(1.04)} = 14\ ans$$

Donc la saturation surviendra **14 ans** après l`année de mise en service en.

III.7 Conclusion :

En conclusion, l'étude du trafic a permis de calculer le nombre de voies exacte de la chaussée **(2 × 3)** afin de réaliser l`autoroute et le prendre en considération dans le profil en travers type.

IV.1 Introduction :

La surface de roulement d'une route est une conception de l'espace, définie géométriquement par trois groupes d'éléments qui sont :

- tracé de son axe en situation ou en plan.
- tracé de cet axe en élévation ou profil en long.
- profil en travers.

Les caractéristiques géométriques de ces éléments doivent correspondre à la solution la meilleure du point de vue économique et satisfaire certaines conditions minimales dictées par :

- la nature, plus particulièrement la topographie et la géologie.
- le trafic futur prévu.

IV.2 TRACE EN PLAN :

Le tracé en plan d'une route est constitué d'une succession de courbes et d'alignements droits séparés ou pas par des raccordements progressifs. Il vise à assurer de bonnes conditions de sécurité et de confort tout en s'intégrant au mieux dans la topographie du site.

IV.2.1 Les éléments du profil en plan

Un tracé en plan moderne est constitué de trois éléments :

1. Des droites (alignements).
2. Des arcs de cercle.
3. Des courbes de raccordement progressives.

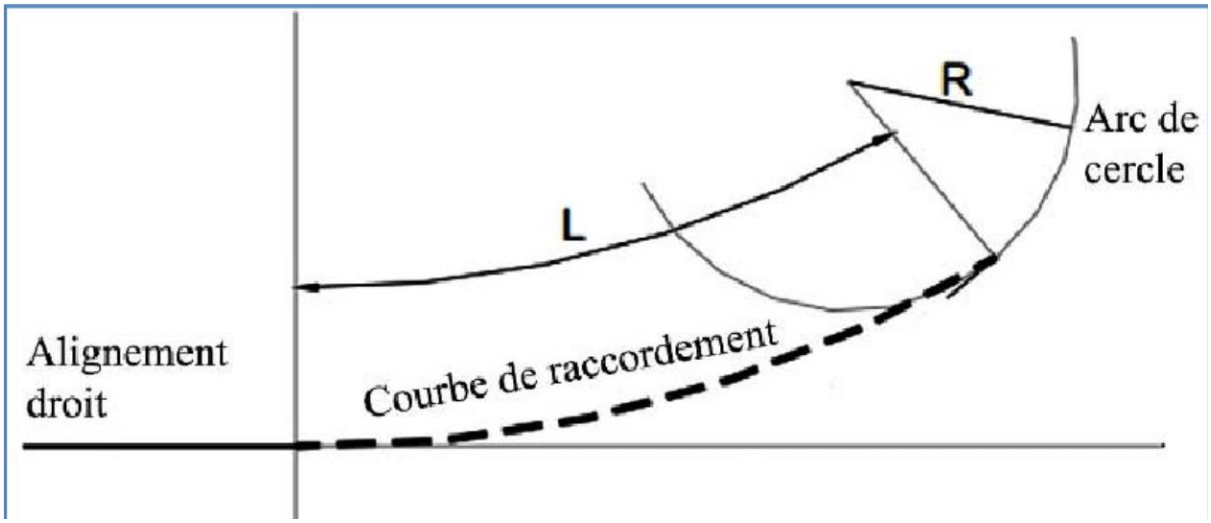


Figure IV. 1 *:* les éléments d'un tracé en plan.

IV.2.1.1 Alignements :

Bien qu'en principe la droite soit l'élément géométrique le plus simple, son emploi dans le tracé des routes modernes est restreint.

La cause en est qu'il présente des inconvénients, notamment :

- De nuit, éblouissement prolongé des phares.
- Difficultés de conduite et monotonie qui peuvent engendrer des accidents ou un malaise chez le conducteur.
- Mauvaise adaptation de la route au paysage. On recherche aujourd'hui une certaine harmonie entre la route et son environnement, ce que ne peut pas offrir une construction ou une coupure rigide. En particulier, conditions optiques très défavorables si l'alignement se trouve sur un long parcours en remblai ou en déblai.
- Appréciation difficile des distances entre véhicules éloignés.

IV.2.1.2 Arcs de cercle :

Trois éléments interviennent pour limiter les courbures :

- Stabilité des véhicules en courbe.
- Visibilité en courbe.
- Inscription des véhicules longs dans les courbes de rayon faible.

- **Stabilité en courbe :**

Dans un virage de rayon R, le véhicule subit l'effet de la force centrifuge qui tend à provoquer une instabilité du système.

Afin de réduire l'effet de la force centrifuge, on incline la chaussée transversalement vers l'intérieur de la courbe (éviter le phénomène de dérapage) d'une pente dite dévers exprimée par sa tangente.

Le dimensionnement des rayons du tracé en plan et des dévers correspondant est lié :

• à la dynamique des véhicules
• aux conditions de contact pneu/chaussée
• au confort de l'usager

Les paramètres purement dynamiques permettent de définir une valeur minimale de rayon en fonction de la vitesse pratiquée et du dévers et la définition d'un seuil de sécurité. L'étude du comportement des usagers en virage a permis d'identifier une marge supplémentaire " de confort".

Ces calculs permettent de déterminer deux valeurs fondamentales en matière de virages :

- **Le rayon minimal** qui assure la stabilité des véhicules à la vitesse de référence lorsqu'il est associé au dévers maximal (généralement 7%).

- **Le rayon non déversé** qui assure cette même stabilité en l'absence de dévers (profil en toit).

IV.2.1.3 Courbes de raccordement progressives :

Le raccordement d'un alignement droit à une courbe circulaire doit être fait par des courbures progressives permettant l'introduction du devers et la condition du confort et de sécurité.

La courbe de raccordement la plus utilisée dans un tracé en plan est la **Clothoïde** grâce à ses particularités, c'est-à-dire pour son accroissement linéaire des courbures. Elle assure à la voie

un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation du devers (condition de gauchissement) et assure l'introduction de devers et de la courbure de façon à respecter les conditions de stabilité et de confort dynamique qui sont limitées par unité de temps de variation de la sollicitation transversale des véhicules.

On définit une clothoïde par son paramètre A **(A^2= RL)** ou par son rayon R (au point de tangence) et sa longueur L.

- **Remarque :**

D'après L'ICTAAL Les courbes de rayon inférieur à 1,5 Rnd sont introduites par des raccordements progressifs (clothoïdes).

IV.2.2 Recommandations pour le tracé en plan :

-Pour un meilleur choix technico-économique du tracé il est recommandé de :

-Respecter les points de départ et d'arrivée.

-Eviter les sections rectilignes de grande longueur (monotonie de conduite le jour et gène en conduite de nuit à cause de l'éblouissement des phares).

-Eviter la démolition du bâti (maisons, constructions et habitats).

-Eviter le passage sur des terres agricoles notamment irriguées.

-Eviter le passage aussi sur des zones forestières et d'arboricultures.

-Eviter le terrassement excessif et inutile, de préférence suivre les courbes de niveau.

-Tenir compte des contraintes de réseaux (installations électriques, conduites de gaz, conduites -principales d'assainissement et d'eau potable).

-Réduire les portées des ouvrages d'art aux niveaux des oueds en les traversant sur un plan perpendiculaire.

-Localiser en distance cumulée (PK) l'ensemble des points singuliers (croisement de routes, pistes, réseaux électriques, téléphoniques, hydrauliques etc.).

IV.2.3 Choix de la catégorie et leurs vitesses appropriées :

Les autoroutes ou sections d'autoroute sont classées en deux catégories se distinguant par le Niveau de leurs caractéristiques de tracé en plan et de profil en long. Le choix de la catégorie Résulte de l'environnement (relief, occupation du sol...) dans lequel s'inscrit l'autoroute et doit être Cohérent avec la perception qu'en aura l'usager. On distingue :

• **la catégorie L1**, appropriée en région de plaine ou vallonnée où les contraintes de relief sont modérées.

• l**a catégorie L2** mieux adaptée aux sites de relief plus difficile, compte tenu des impacts économiques et environnementaux qu'il implique.

Ces catégories **L1** et **L2** sont respectivement appropriées à des vitesses maximales autorisées de 130 et 110 km/h.

- **Remarque :**

La catégorie et la vitesse sont des paramètres qui permet de déterminer les caractéristiques géométriques minimales d'aménagement des points singuliers pour le confort et la sécurité des usagers, la région de notre projet est de catégorie L1.

IV.2.4 Valeurs des rayons :

D'après L'ICTAAL Les rayons en plan doivent respecter les valeurs minimales résumées dans le tableau suivant :

Tableau IV. 1 : Les valeurs minimales des rayons du tracé en plan.

Catégorie		L1
RAYON MINIMALE	Rm	600 (m)
RAYON MINIMALE NON DÉVERSÉ	Rnd	1000(m)

On cas de grand alignement droit en remplace les alignements par des courbes de grand rayon.

IV.2.5 Enchainement des éléments du tracé en plan :

Des courbes circulaires de rayon modéré (<1,5 Rnd) ne peuvent être utilisées qu'en respectant les règles d'enchaînement du tracé en plan ci-après :

• introduire de telles courbes sur une longueur de 500 à 1 000 m à l'aide de courbes de plus grand rayon. En ce cas, deux courbes successives doivent satisfaire à la condition :

R1<1,5R2, où R1 est le rayon de la première courbe rencontrée et R2 (<1,5Rnd) celui de la seconde. Cette recommandation est impérative dans une section à risque, comme après une longue descente, à l'approche d'un échangeur, d'une aire ou dans une zone à verglas fréquent.

• séparer deux courbes successives par un alignement droit d'au moins 200 m, sauf pour deux courbes de sens contraire introduites par des raccordements progressifs.

IV.2.6 Calcule manuel de l'axe en plan :

- **Cas d'un raccordement sans clothoïde :**

R=1600m>1500m alors d=-2.5% et le calcule se fait sans clothoïde

Les coordonnées des sommets A, B, C sont les suivants :

A (x=485719.1968 Y=4054429.7687)

B (x=485959.1366 y=4054391.204)

C (x=486206.8119 y=4054330.8718)

- **Calcule des gisements :**

$\Delta X_{AB}=X_B-X_A$=485959.1366 -485719.1968=239.9398m

$\Delta Y_{AB}=Y_B-Y_A$=4054391.204-4054429.7687=-39.5647m

α = arctg $\frac{\Delta X}{\Delta Y}$ =arctg$\frac{239.9398}{-39.5647}$ = arctg -6.06 =-89.6 gr → 2éme cadran Alors:

G_A^B= 200- α = 200- 89.6 =110.4gr

ΔX_{BC} = X_C - X_B=486206.8119 -485959.1366 =247.67m

$\Delta Y_{BC} = Y_c - Y_B$ =4054330.8718-4054391.204=-60.33m

α =arctg $\frac{\Delta X}{\Delta Y}$ =arctg$\frac{247.67}{-60.33}$ = arctg -4.105=-84.78gr→ 2éme cadran

G_B^C= 200- α = 200-84.78 =115.22gr

- **Calcule des angles :**

$\gamma = G_B^C - G_A^B$=I115.22-110.4I=4.82gr

$d_{AB} = \sqrt{\Delta X_{AB}^2 + \Delta Y_{AB}^2}$= $\sqrt{239.9398^2 + 39.5647^2}$=243.18m

$d_{BC} = \sqrt{\Delta X_{BC}^2 + \Delta Y_{BC}^2}$= $\sqrt{247.67^2 + 60.33^2}$=254.91m

- **Calcule de tangentes :**

$$T_1 = T_2 = T = R*\tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) = 60.6m$$

- **Calcule des coordonnées des points tangentes A', C':**

G_A^B=110.4gr → G_B^A =110.4−200 = −89.6gr

Distance A'B= T_2=125.29m

$$X_{A'} = X_B + 125.29*\sin(-79.51) = 485314.3362$$

$$Y_{A'} = Y_B + 125.29 * \cos(-79.51) = 4054493.359$$

G_B^C=110.54gr, la distance C'B= T_1=125.29m

$$X_{C'} = X_B + 125.29 * \sin(110.54) = 485556.7693$$

$$Y_{c'} = Y_B + 125.29 * \cos(110.54) = 4054433.078$$

- **Calcule des coordonnées du centre du cercle :**

$G_{A'}^M$ =300+ G_A^B= 420.49gr

$$X_M = X_{A'} + 1600 * \sin(420.49) = 485420.4609$$

$$Y_M = Y_{A'} + 1600 * \cos(420.49) = 4056011.2$$

Remarque : le tracé de l'axe en plan est réalisé à l'aide du logiciel CIVIL 3D, les paramètres du tracé en plan sont donnés dans **l'annexe IV**.

IV.3 PROFIL EN LONG :

Le profil en long est constitué d'un graphique sur lequel on reporte les points du terrain naturel et ceux de l'axe du projet de voirie. Le profil en long est composé d'éléments rectilignes (pentes ou rampes) caractérisés par leur déclivité et de raccordements circulaires caractérisés par leur rayon.

L'échelle de représentation est différente en abscisse et en ordonnée. Un rapport de 1\10 permet de souligner le relief.

Lors de la conception, il convient de prendre en comptes les éléments suivants :

- Il est souvent préférable de prévoir un profile en long en léger remblais plutôt qu'un profil en long rasant afin de faciliter la réalisation des travaux (terrassements et chaussées) ainsi que l'évacuation des eaux de la chaussée.
- De ne pas dépasser une pente maximale préconisée par les règlements.
- D'éviter de maintenir une forte déclivité sur une grande distance.
- Assurer l'écoulement d'eau en utilisant des déclivités minimales de 0.5%
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profile en long.

IV.3.1 Déclivité :

La construction du profil en long doit tenir compte de plusieurs contraintes. La pente doit être limitée pour des raisons de sécurité (freinage en descente) et de confort (Puissance des véhicules en rampe). Autrement dit la déclivité est la tangente de l'angle que fait la ligne rouge du profil en long avec l'horizontal. Elle prend le nom de pente pour les descentes et rampe pour les montées.

IV.3.1.1 Déclivité minimum :

Les tronçons de route absolument horizontaux, dits « en palier » sont si possible à éviter, pour la raison de l'écoulement des eaux pluviales.la pente transversale seule de la chaussée ne suffit pas, il faut encore que l'eau accumulée latéralement s'évacue longitudinalement avec facilité par des fossés ou des canalisations ayant une pente suffisante. Il est conseillé d'éviter les pentes inférieures à 1% et surtout celle inférieur à 0.2 %, pour éviter la stagnation des eaux.

IV.3.1.2 Déclivité maximum :

Du point de vue technique, la déclivité maximale dépend de l'adhérence entre pneus et chaussée (ce phénomène concerne tous les véhicules), ainsi de la réduction des vitesses qu'elle provoque ou les camions (poids lourds) sont déterminants car la plupart des véhicules légers ont une grande puissance. La déclivité maximale est tolérée surtout dans les courtes à distances inférieures à 1500m.

IV.3.2 Raccordements en profil en long :

Les changements de déclivités constituent des points particuliers dans le profil en long. Ce changement doit être adouci par l'aménagement de raccordement circulaire qui y doit satisfaire les conditions de visibilité et de confort. On distingue deux types de raccordements :

IV.3.2.1 Raccordement convexes (angle saillant) :

Les rayons minimums admissibles des raccordements paraboliques en angles saillants, sont déterminés à partir de la connaissance de la position de l'œil humain, des obstacles et des distances d'arrêt et de visibilité. Leur conception doit satisfaire à la condition :

- Condition de confort.
- Condition de visibilité.

- **Condition de confort :**

Elle consiste à limiter l'accélération verticale à laquelle sera soumis le véhicule lorsque le profil en long comporte une forte courbure convexe.

- **Condition de visibilité :**

Elle intervient seulement dans les raccordements des points hauts comme condition supplémentaire à celle de la condition de confort. Il faut que deux véhicules circulant en sens opposés puissent s'apercevoir à une distance double de la distance d'arrêt au minimum.

IV.3.2.2 Raccordement en angle concave (rentrant) :

Dans le cas de raccordement dans les points bas, la visibilité diurne n'est pas déterminante, plutôt c'est pendant la nuit qu'on doit s'assurer que les phares du véhicule devront éclairer un tronçon suffisamment long pour que le conducteur puisse percevoir un obstacle.

IV.3.3 Valeurs limites :

En fonction de la catégorie retenue (catégorie L1), le guide ICTAAL (INSTRUCTION SUR LES CONDITIONS TECHNIQUES D'AMÉNAGEMENT DES AUTOROUTES DE LIAISON) donne la déclivité maximale ainsi que la valeur minimale des rayons en angle saillant et en angle rentrant.

Les paramètres de notre profil en long doivent respecter les valeurs limites données dans le tableau suivant :

Tableau 3-1 :

Tableau IV. 2 : Valeurs minimales des rayons du tracé en plan.

Catégorie	L1
Déclivité maximale	5 %
Rayon minimal en angle saillant	12 500 m
Rayon minimal en angle rentrant	4 200 m

IV.3.4 Exemple de calcule de profil en long :

- Cas d'un raccordement convexes :

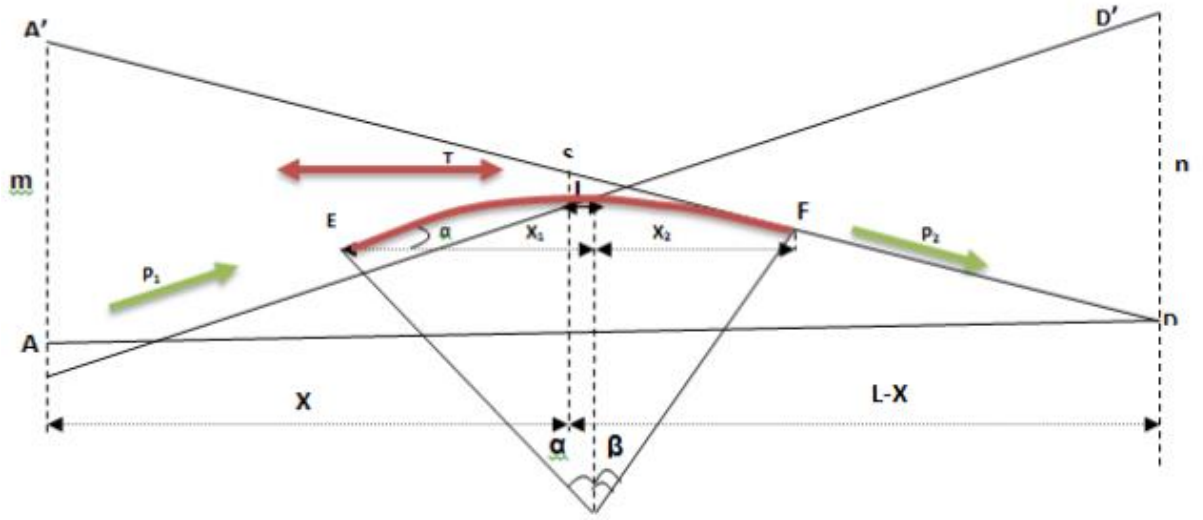


Figure IV. 2 : raccordements convexes.

Figure :

On a R=13000m et L= 354.050m

Tableau IV. 3:les données de l'axe à calculer.

Point	**X(m)**	**Z(m)**
A (X, Z)	**3891.01**	**13.75**
D (X, Z)	**4245.06**	**16.87**

$\boldsymbol{P_1 = 2.26\%}$ $\boldsymbol{P_2 = -0.5\%}$

- **Détermination de La position du point de rencontre (S) :**

On a:

$Z_{A'}$=$Z_D + L \times P_2$ = 16.87 +354.050 × 0.005 = **18.64m**

$Z_{D'}$=$Z_A + L \times P_1$ =13.75 + 354.050 ×0.0226 = **21.75m**

Avec : m=$Z_{A'}$-$Z_A = 4.89m$, $n = Z_{D'}$-Z_D=**4.88m**

$X = \frac{m \times L}{m+n}$ = **177.2m**

X_S=X+X_A =**4068.1m**

Z_S=$P_1 \times X$+Z_A=**17.75m**

- **Calcule de la tangente :**

T= $\frac{R}{2} \times (P_1\text{-}P_2) = \frac{\mathbf{13000}}{2} \times$ (0.0226-0.005) =**114.4m**

La tangente (T) permet de positionner les pentes de tangentes E et F

- **Calcul des coordonnées des points de tangents**
- **Calcul des coordonnées du point E :**

X_E=X_S-T =4068.1-114.4=**3953.7m**

Z_E=Z_S-T× P_1= 17.75-114.4×0.0226=**15.16m**

- **Calcul des coordonnées du point F :**

X_F=X_S+T =4068.1+114.4=**3953.7m**

Z_F=Z_S-T× P_2=17.75-114.4×0.005=**17.178m**

- **Calcul de la longueur de la courbe :**

L=2×T = 2×114.4=**228.8m**

- **Calcul de la flèche :**

H=$\frac{T^2}{2R}$ =$\frac{114.4^2}{2\times13000}$ =0.5m

- **Calcul des cordonnées du sommet de la courbe (T) :**

$X_{J/A}$=R×P_1

$$Z_{J/A} = X_{J/A} \times P_1 - \frac{(X_{J/A})^2}{2 \times R}$$

$X_{J/A}$=13000×0.0226=**293.8m**

$Z_{J/A}$=293.8×0.0226-$\frac{(293.8)^2}{2\times13000}$=**22m**

$X_{J/A}$= X_E + $X_{J/A}$ =3953.7 + 293.8 = **4247.5 m**

Z_J= Z_E - $Z_{J/A}$ =15.16m -3.32 =**11.84m**

IV.3.5 Coordination du tracé en plan et du profil en long :

La coordination du tracé en plan et du profil en long doit faire l'objet d'une étude d'ensemble, afin d'assurer une bonne insertion dans le site, le respect des règles de visibilité et, autant que possible, un certain confort visuel ; ces objectifs incitent à :

• associer un profil en long concave, même légèrement, à un rayon en plan impliquant un dégagement latéral important ;

• supprimer les pertes de tracé dans la mesure où une telle disposition n'entraîne pas de surcoût sensible ; lorsqu'elles ne peuvent être évitées, on fait réapparaître la chaussée à une distance de 500 m au moins, créant une perte de tracé suffisamment franche pour prévenir les perceptions trompeuses.

Remarque : le profil en long a été fait avec le logiciel CIVIL 3D et le plan est joint ci-après en **l'annexe IV.**

IV.4 PROFIL EN TRAVERS :

Le profil en travers est défini comme la coupe de la route suivant un plan perpendiculaire au tracé en plan.

Les pentes et les configurations des éléments de l'assiette de la route sont déterminées par la topographie du site et la géotechnique des sols traversés ou utilisés en remblai.

Il est établi généralement un profil unique « profile type » à l'échelle 1/50 contenant toutes les dimensions générales qui se répètent et tous les détails constructifs (largeur des voies, accotements, pentes, talus, dimensions des couches, système d'évacuation des eaux,etc.)

Le deuxième type de profil est celui « profil courant » en nombre important indiquant les altitudes du terrain et celles de la chaussée finie a l'axe de la route.

IV.4.1 Les éléments du profil en travers :

IV.4.1.1 CHAUSSÉE :

D'après L'ICTAAL Chaque chaussée comporte de 2 à 4 voies de circulation larges de 3,50 m.

Dans notre projet on a une chaussée de 3 voies avec 3,5m pour chaque voie.

IV.4.1.2 TERRE-PLEIN CENTRAL (T.P.C.) :

Le T.P.C. assure la séparation matérielle des deux sens de circulation. Sa largeur résulte de celle de ses constituants : les deux bandes dérasées de gauche et la bande médiane.

A. Bande dérasée de gauche (B.D.G.) :

Elle est destinée à permettre de légers écarts de trajectoire et à éviter un effet de paroi lié aux barrières de sécurité. Elle contribue dans les courbes à gauche au respect des règles de visibilité. Elle est dégagée de tout obstacle, revêtue et se raccorde à la chaussée sans dénivellation.

B. Bande médiane :

Elle sert à séparer physiquement les deux sens de circulation, à implanter certains équipements (barrières de sécurité, supports de signalisation, ouvrages de collecte et d'évacuation des eaux) et, le cas échéant, des piles d'ouvrages et des aménagements paysagers. Sa largeur dépend, pour le minimum, des éléments qui y sont implantés.

IV.4.1.3 Accotement :

L'accotement comprend une bande d'arrêt d'urgence (B.A.U.) bordée à l'extérieur d'une berme.

A. La bande d'arrêt d'urgence (B.A.U.)

La B.A.U. facilite l'arrêt d'urgence hors chaussée d'un véhicule, la récupération d'un véhicule déviant de sa trajectoire, l'évitement d'un obstacle sur la chaussée, l'intervention des services de secours, d'entretien et d'exploitation.

Elle est constituée à partir du bord géométrique de la chaussée d'une surlargeur de chaussée qui porte le marquage en rive, puis d'une partie dégagée de tout obstacle, revêtue et apte à accueillir un véhicule lourd en stationnement. Aucune dénivellation ne doit exister entre la chaussée et la B.A.U Sa largeur est de 2,50 m, ou 3m.

B. La berme :

Elle participe aux dégagements visuels et supporte des équipements : barrières de sécurité, signalisation verticale… Sa largeur qui dépend surtout de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place est de 1,00 m minimum ; mais elle peut être intégrée à un dispositif d'assainissement dont la pente ne dépasse pas 25%

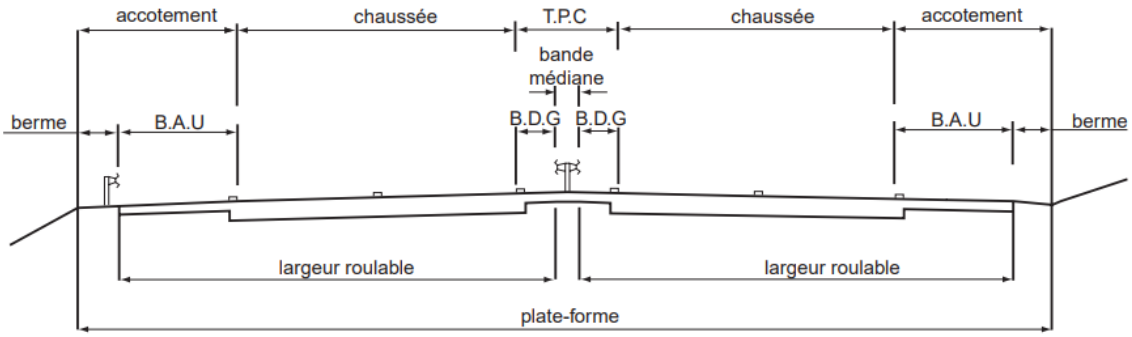


Figure IV. 3 : éléments constructifs du profil en travers.

IV.4.2 Pentes transversales :

Les courbes de rayon inférieur à Rnd sont déversées vers l'intérieur de la courbe

IV.4.2.1 En alignement et en courbe non déversée :

La pente transversale d'une chaussée est de 2,5% vers l'extérieur. La pente d'une B.A.U. (ou d'une B.D.D.), est identique à celle de la chaussée adjacente, mais au-delà de la surlargeur de chaussée portant le marquage de rive, elle peut être portée à 4 % pour des raisons techniques. Les pentes des B.D.G. et du versant en toit d'un T.P.C. revêtu sont identiques à celle de la chaussée adjacente. La berme extérieure présente une pente transversale de 8 % qui peut être portée jusqu'à 25 % dans le cas où elle est intégrée au dispositif d'assainissement

IV.4.2.2 En courbe déversée :

La pente transversale d'une chaussée varie linéairement en fonction de 1/R, entre 2,5 % pour Rnd et 7 % pour Rm.

La pente de la B.A.U. (ou la B.D.D.) intérieure à la courbe est la même que celle de la chaussée adjacente.

La pente de la B.A.U. extérieure (ou la B.D.D.) reste la même qu'en alignement droit tant que le dévers ne dépasse pas 4 % ; au-delà, elle est de sens opposé au dévers et égale à 1,5 %, hormis la surlargeur de chaussée qui conserve la même pente que la chaussée. Les dispositions relatives aux autres composantes de la plate-forme restent les mêmes.

IV.4.3 Profil en travers type du notre projet :

Tableau IV. 4 : Profil en travers type du notre projet.

Elément	Longueur (m)	Nombre	Longueur totale (m)
Voie 2×3	**3.5**	**6**	**21**
Bande médiane	**1.5**	**1**	**1.5**
Bande dérasée de gauche (B.D.G.)	**0.5**	**2**	**1**
La bande d'arrêt d'urgence (B.A.U.)	**2.5**	**2**	**5**
La berme	**1**	**2**	**2**
Totale (m)	**30.5**		

V.1 Introduction :

La géotechnique routière est une branche spécialisée de l'ingénierie géotechnique qui se concentre sur l'étude des propriétés mécaniques et physiques des sols et des roches en relation avec la construction et l'entretien des infrastructures routières. Elle joue un rôle crucial dans la conception, la construction et la maintenance des routes, des autoroutes, des ponts et des tunnels.

V.2 Les moyens de reconnaissances :

Les moyens de reconnaissances d'un tracé routier sont **:**

- L'étude des archives et documents existants.
- Les visites de site et les essais in situ (puits de reconnaissances, sondages carottés)
- Les essais de laboratoires

V.3 Application sur notre projet :

V.3.1 Programme des investigations in situ

V.3.1.1 Les puits de reconnaissances :

Durant cette phase d'étude, 11 puits de reconnaissance ont été planifiés le long du tracé Du PK30+200 au PK39+900. Leurs profondeurs projetées varient entre 3m et 5m. Ces puits ont pour but d'observer directement en profondeur la nature des formations faisant office de sol support, évaluer l'épaisseur du sol de mauvaise qualité à décaper, déterminer l'épaisseur de terre végétale, détecter le niveau d'eau et prélever des échantillons remaniés pour identification et caractérisation géotechnique en laboratoire

Remarque : dans le tableau (voir **l'annexe V**) récapitule le programme de la campagne géotechnique relatif aux puits de reconnaissance.

V.3.1.2 Les sondages carottés :

Quatre (4) sondages carottés ont été planifiés dans cette phase d'étude. Leurs profondeurs projetées sont 10m. Ils ont pour but d'étudier les conditions d'excavation, la stabilité des pentes de talus par la vérification de l'existence de plans de glissements, mais surtout de prélever des échantillons intacts permettant l'identification géologique et géotechnique des différentes couches traversées afin d'estimer la stabilité des grands remblais sur les sols médiocres, et d'étudier la stabilité des talus dans les zones de déblais.

Remarque : dans le tableau (voir **l'annexe V**) récapitule le programme de la campagne géotechnique relatif aux sondages carottés.

V.3.2 Programme des essais au laboratoire :

V.3.2.1 Les puits de reconnaissance :

Les puits de reconnaissances ont intéressé d'une part les zones en remblai afin d'examiner la portance du sol en cours d'exécution, et d'autres part les déblais en vue d'investiguer leur réutilisation comme matériaux de remblai.

Les échantillons remaniés provenant des puits de reconnaissance ont été soumis aux essais de laboratoire détaillés dans **l'annexe V**.

V.3.2.2 Les sondages carottés :

Les échantillons intacts prélevés des sondages carottés ont fait l'objet d'un programme approprié afin de déterminer les propriétés physiques, chimiques et mécaniques du sol nécessaire aux études de stabilité et au dimensionnement de la chaussée.

Le tableau dans **l'annexe V** détaille le programme des essais de laboratoire susmentionné.

V.3.3 RESULTATS DES INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES :

V.3.3.1 Résultats des reconnaissances in situ :

V.3.3.1.1 Puits de reconnaissance :

Les profondeurs d'excavation atteintes sont comprises entre 3 m et 3.8 m, dépendant d'une part de la profondeur projetée et d'autre part de la nature des formations excavées.

Tableau V.1: Aperçu sur les résultats des puits de reconnaissance.

Référence sondage	PK	Profondeur	Formation majeur
F29-R	30+200	3.30	Argile sableuse, marneuse a la base
F30-R	31+300	3.20	Limon argileux marron verdâtre
F31-R	32+700	3.40	Argile sablo-limoneuse
F32-R	33+700	3.5	Argile sablo-limoneuse
F33-R	34+600	3.40	Argile sablo-limoneuse
F34-R	35+600	3.20	Argile noirâtre sur des sables à graves brun
F35-R	36+500	3.00	Argile sablo-limoneuse
F36-R	37+900	3.00	Argile sableuse brune
F37-R	38+600	3.50	Argile sableuse
F38-R	39+600	3.80	Argile sableuse brune
F39-R	40+800	3.8	Argile sableuse brune

V.3.3.1.2 Sondages Carottés :

Le tableau ci-après récapitule l'ensemble des sondages carottés exécutés le long du tracé, permettant de ressortir globalement la nature lithologique.

Tableau V.2 : Aperçu sur les résultats des puits de reconnaissance.

N°des sondages	PK	Profondeur réalisée	Formation majeur
SC6-R+SPT	31+900	10.5	Argile carbonatée
SC7-R+SPT	35+400	10	Argile limoneuse
SC8-R+SPT	37+400	10	Argile limoneuse
SC9-R+SPT	39+900	10	Argile carbonatée

Remarque : On constate que le sol est constitué essentiellement par des dépôts argilo-limoneuses dites marécageuses compressibles à très compressibles.

V.3.3.2 Résultats des essais de laboratoire :

V.3.3.2.1 Analyse granulométrique :

L'essai granulométrique des puits de reconnaissance nous a données les résultats suivants.

Tableau V.3: résultats de l'essai granulométrique.

Référence sondage	PK	Dmax	%<2mm	%<0.08mm
F29-R	30+200	5	99.94	99.77
F30-R	31+300	10	99.79	96.7
F31-R	32+700	12.5	90.64	74.36
F32-R	33+700	25	94.9	77.48
F33-R	34+600	14	94.55	77.91
F34-R	35+600	25	87.66	71.41
F35-R	36+500	6.3	99.79	94.8
F36-R	37+900	12.5	97.75	85.85
F37-R	38+600	12.5	96	60.51
F38-R	39+600	5	99.86	89.83
F39-R	40+800	10	99.7	99.27

V.3.3.2.2 Limite d'Atterberg et les valeurs du bleu de méthylène :

Les résultats sont les suivants :

Tableau V.4: résultats d'essais de la limite d'Atterberg et les valeurs du bleu de méthylène.

Référence sondage	F29-R	F30-R	F31-R	F32-R	F33-R	F34-R	F35-R	F36-R	F37-R	F38-R	F39-R
WL%	48	32	39	37	32	39	32	34	32	33	48
IP%	17	12	16	15	7	17	12	12	11	6	19
Valeurs du bleu de méthylène	0.75	1.75	0.97	1.7	0.49	3.22	0.25	1.49	0.49	1.5	2

V.3.3.2.3 Essai Proctor normal :

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V.5*:* résultats d'Essaie Proctor normal.

Référence sondage	**F29-R**	**F30-R**	**F31-R**	**F32-R**	**F33-R**	**F34-R**	**F35-R**	**F36-R**	**F37-R**	**F38-R**	**F39-R**
Wn (%)	22,54	12,07	16,48	16,92	17,76	14,54	14,59	17,11	11,8	20,3	27,88
Gdmax (t/m3)	1.55	1.65	1.67	1.56	1.56	1.67	1.66	1.67	1.76	1.7	1.56
Wopm (%)	19.4	16.3	14.6	12.3	12.3	13.9	16.6	16.4	13	13.7	19.6

Interprétation des résultats :

- Les teneurs en eau optimale varient entre 12.3% et 19.6%.
- La densité sèche maximale varie entre 1.56t/m3 et 1.76t/m3.

V.3.3.2.4 Essaie Proctor modifié :

Les résultats de l'essai sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V.6:résultats d'Essaie Proctor modifié.

Référence sondage	**F29-R**	**F30-R**	**F31-R**	**F32-R**	**F33-R**	**F34-R**	**F35-R**	**F36-R**	**F37 R**	**F38-R**	**F39-R**
Wn (%)	22,54	12,07	16,48	16,92	17,76	14,54	14,59	17,11	11,88	20,3	27,88
Gdmax (t/m3)	1.74	1.81	1.88	1.89	1.84	1.95	1.84	1.93	1.94	1.86	1.76
Wopm (%)	14.6	13.3	10.4	10.2	10.6	9.9	7.5	10.1	9.7	8.6	16.2

Interprétation des résultats :

- Les teneurs en eau optimale varient entre 7.5% et 16.2%.
- La densité sèche maximale varie entre 1.74t/m3 et 1.95t/m3.

V.3.3.2.5 Essai CBR imbibé :

Tableau V.7: résultats d'Essaie CBR imbibé

Référence sondage	**F29-R**	**F30-R**	**F31-R**	**F32-R**	**F33-R**	**F34-R**	**F35-R**	**F36-R**	**F37-R**	**F38-R**	**F39-R**
Indice de CBR	**3**	**3**	**2**	**2**	**2**	**2**	**4**	**4**	**4**	**3**	**3**

Remarque :

Les résultats des indices de CBR imbibés indiquent que le sol support est de faible portance.

V.4 Classification du sol support (classification GTR) :

Les différents systèmes de classifications géotechniques des sols et des matériaux rocheux proposés jusqu'à présent ont été établis avec le souci de servir l'ingénieur dans l'ensemble des différents domaines du Génie Civil où ces matériaux sont concernés (ouvrages en terre, fondations, stabilité des pentes, assises de chaussée ou élaboration des granulats. . .), Ainsi, pour la réalisation des remblais et des couches de forme.

V.4.1 Paramètres retenus pour la classification des sols :

Les paramètres retenus se rangent en trois catégories

- paramètres de nature,

- paramètres de comportement mécanique,

- paramètre d'état,

- **Exemple de calcule :**

Puit F29-R :

1-classement selon la nature :

- 1^{er} Niveau : granularité :

Dmax= 5mm≤50mm

Et → sols fins (**classe A**)

Tamisat a 0.08mm=99.77%

- 2^{eme} Niveau : argilosité :

VBS= 0.75≤2.5 → sous classe $\mathbf{A_1}$

2. Classement selon l'état hydrique :

Wn=22,54% et Wopt=19.4%

$\frac{Wn}{Wopt} = \frac{22,54}{19.4}$=1.16 ⟹ 1,10 WOPN < Wn < 1,25 WOPN

L'etat hydrique du sol est humide « h »

Donc le sol est $\boldsymbol{A_1 h}$

Tableau V.8: classification GTR des matériaux.

Classement selon la nature					Classement selon l'état hydrique		
Puit	Dmax	%<0.08mm	VBS	Sous la classe fonction de la nature	Wn	Wopt (%)	Sous classe
F29-R	5	99.77	0.75	A_1	22,54	19.4	A_1h
F30-R	10	96.7	1.75	A_1	12,07	16.3	A_1s
F31-R	12.5	74.36	0.96	A_1	16,48	14.6	A_1h
F32-R	25	77.48	1.7	A_1	16,92	12.3	A_1th
F33-R	14	77.91	0.49	A_1	17,76	12.3	A_1th
F34-R	25	71.41	3.22	A_2	14,54	13.9	A_2m
F35-R	6.3	94.8	0.25	A_1	14,59	16.6	A_1s
F36-R	12.5	85.85	1.49	A_1	17,11	16.4	A_1m
F37-R	12.5	60.51	0.49	A_1	11,8	13	A_1m
F38-R	5	89.83	1.5	A_1	20,3	13.7	A_1th
F39-R	10	99.27	2	A_1	27,88	19.6	A_1th

Interprétation des résultats :

Selon la classification GTR qui indiquent majoritairement un sol support sensible à l'eau de faible portance à l'état humide, représenté par une fraction argileuse plus ou moins élevée de classe A.

V.4.2 Condition d'utilisation des matériaux de déblai :

Les conditions de réutilisation des matériaux de déblai en remblai ont été établis sur la base des recommandations de la GTR 92.

Tableau V. 9: Conditions d'utilisation des matériaux de déblai.

sol	Observation générale	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai
A_1h	Ces sols sont difficiles à mettre en œuvre en raison de leur portance faible Ils sont sujets au matelassage Le matelassage est à éviter au niveau de l'arase-terr	+	Pluie faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes
		=	Ni pluie, ni évaporation importante	Traitement Traitement avec un réactif adapté Compactage moyen
		-	Évaporation importante	Utilisation en l'état Compactage faible Remblai de faible hauteur (≤ 5m)
A_1s	Ces sols sont difficiles à compacter. Il faut au moins éviter de réduire encore leur teneur en eau et	++	Pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes.
		+	Pluie faible	Extraction en couches Couches minces Compactage moyen

	pour des remblais de grande hauteur un changement de leur état hydrique est nécessaire.			Remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)
		=	Ni pluie ni évaporation importante	Humidification pour changement d'état Régalage en couches minces Compactage moyen
		-	Évaporation importante	Arrosage superficiel pour maintien de l'état Compactage intense Remblai de faible hauteur (≤ 5 m)
A_1th	**Sols normalement inutilisables en l'état** La réduction de teneur en eau par une mise en dépôt provisoire ou drainage préalable (plusieurs mois) peut être envisageable après étude spécifique et permettrait de les ramener en A1			
A_2m	Ces sols ne posent pas de problème de réutilisation en remblai sauf par pluie forte ou moyenne	++	Pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisante
		+	Pluie faible	Extraction frontale Compactage moyen Remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)
		=	Ni pluie, ni évaporation importante	Compactage moyen
		-	Évaporation importante	Arrosage superficiel pour maintien de l'état Compactage moyen
A_1m	Ces sols s'emploient facilement mais sont très sensibles aux conditions météorologiques qui peuvent très rapidement interrompre le chantier à cause d'un excès de teneur en eau ou au contraire conduire à un matériau sec difficile à compacte	++	Pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes
		+	Pluie faible	Extraction frontale Compactage moyen Remblai de hauteur moyenne (≤ 10m)
		=	Ni pluie, ni évaporation importante	Compactage moyen
		-	Évaporation importante	Arrosage superficiel pour maintien de l'état. Compactage moyen

Remarque :

Les remblais doivent être constitués des matériaux provenant des déblais ou des gites d'emprunts.

La recherche des gîtes d'emprunts est synthétisée dans le tableau qui suit :

Tableau V.10: gite d'emprunt le plus proche a notre tracé.

Numéro	Dénomination	PK	Distance au PK tracé	Classe GTR	Reserve (m^3)
4	Sidi BENNOUR	36	1000m	B_5h	$6 . 10^6$

Le tableau ci-dessous présentent les résultats des investigations au laboratoire réalisées sur les matériaux de ce gite.

Tableau V.11: récapitulatif des résultats des analyses au laboratoire du gîte 4.

Teneur en eau W (%)	Analyse granulométrique			Limites d'Atterberg		VBS	Essai Proctor		Essai CBR imbibé	Classification GTR
	Dmax	<2mm (%)	<80µm (%)	WL (%)	IP (%)		Gdmax (t/m3)	Wopm (%)	CBR	
9.02	15	65.73	32.25	30	8	0.93	2.05	9.7	8.63	B_5h

D'après les résultats des analyses au laboratoire ce matériau s'identifie en un matériau sablo-argileux sensible à l'eau de classe B5h selon la GTR. La nature légèrement argileuse de ce matériau s'exprime par une portance moyenne à l'état hydrique humide (CBR de l'ordre de 10), ce matériau peut être utilisé uniquement dans le corps de remblai.

V.5 CONDITIONS D'UTILISATION LES MATERIAUX EN CDF :

Notre sol est de faible portance (PF1) il est nécessaire d'augmenter la portance jusqu'à PF2.

Le guide technique GTR (annexe 2) propose des conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme afin d'améliorer la portance du sol.

Voici un tableau qui résume les conditions d'utilisations des matériaux et le dimensionnement de la couche de forme :

Tableau V.12: conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme**.**

Sol	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en couche de forme	Épaisseur préconisée de la couche de forme e (en m.) et classe PF de la plateforme support de chaussé
			PST n° 2
			AR 1
A_1h	Pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maitrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s).	e=0,35
	Pas de pluie	Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux	
A1m	Pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maitrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s).	
	Pas de pluie	1) Arrosage pour maintien de l'état hydrique 2)Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux	
A_1s	Pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maitrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant	
	Pas de pluie	1)Humidification pour changer l'état hydrique. 2)Traitement avec un liant hydraulique.	

Le tableau ci-dessous présentent les résultats au laboratoire réalisées sur les matériaux de gite N°6 Oued Djemaa RD situer au PK65 :

Tableau V. 13: Tableau récapitulatif des résultats des analyses au laboratoire du gîte 6.

Teneur en eau W (%)	Analyse granulométrique			Limites d'Atterberg		VBS	Essai Proctor		Essai CBR imbibé	Classification GTR
	Dmax	<2mm (%)	<80µm (%)	WL (%)	IP (%)		Gdmax (t/m3)	Wopm (%)	CBR	
2.45	50	33.28	8.91	26	3	0.24	2.13	6.5	31.71	C_2A_1h

Avec **FR=2.55 et DG=1.05**

Les analyses au laboratoire ont permis de classer ce matériau en sous classe C2A1h selon GTR. Vu sa nature rocheuse, ce potentiel peut être considéré comme une carrière pour l'enrochement des talus.

Quant à son utilisation dans les remblais, ce matériau, caractérisé par une résistance à l'usure assez élevée sous le trafic du chantier exprimée par FR <5 et DG < 7 l'en fait un matériau convenable pour la PST et la CDF.

On peut extraire un Volume de : **35. 106m3.**

VI.1 Introduction :

La qualité d'un projet routier ne se résume pas à la conception d'un tracé et d'un profil adaptés. Une fois construite, la route doit résister à diverses agressions extérieures, notamment les contraintes imposées par le trafic, en particulier les poids lourds.

La structure d'une chaussée routière doit résister à diverses sollicitations, notamment celles dues au trafic et elle doit assurer la diffusion des efforts induits par ce même trafic dans le sol de fondation. L'application d'une charge roulante induit ainsi une déformation en flexion des couches de la structure. Cette flexion entraîne des sollicitations en compression au droit de la charge et des sollicitations en traction à la base des couches d'enrobés.

Il existe différentes méthodes pour bien appréhender cette déformation. Elles donnent lieu ensuite à différents modèles de dimensionnement.

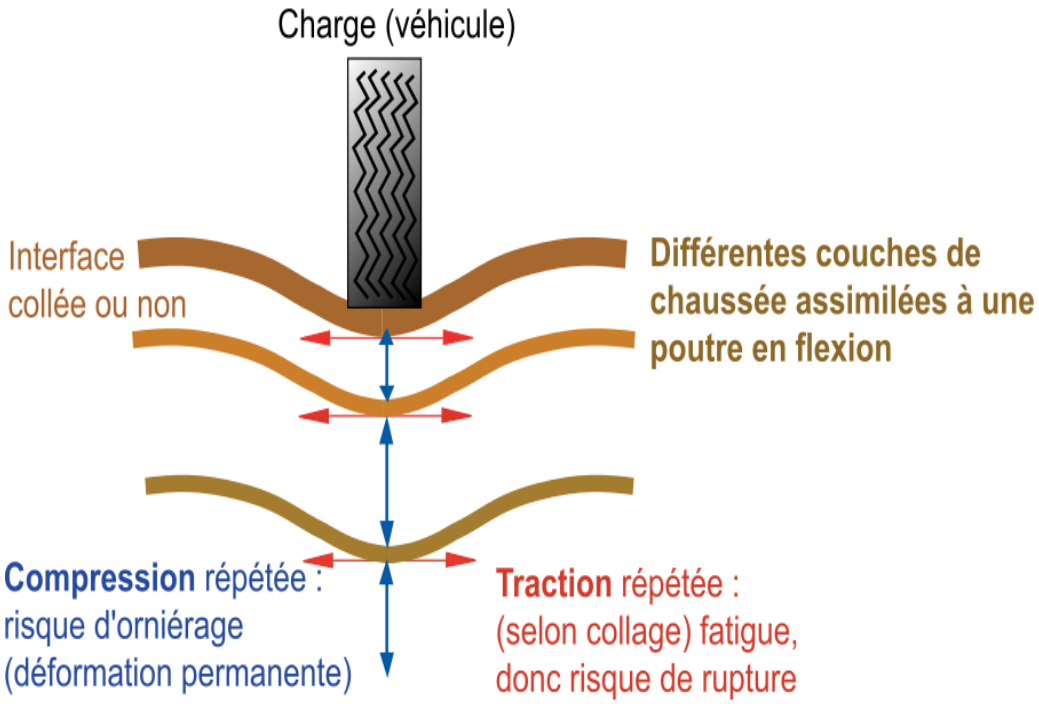


Figure VI. 1: L'application d'une charge roulante.

Les variations de température, les précipitations, la neige, le verglas, etc., sont autant de facteurs auxquels elle doit faire face. Pour assurer sa durabilité, il est essentiel de garantir non seulement des caractéristiques géométriques optimales, mais aussi des propriétés mécaniques qui lui permettront de supporter les charges tout au long de sa vie utile.

La détermination des épaisseurs appropriées, le tout en tenant compte de paramètres fondamentaux.

Facteurs déterminants pour les études de dimensionnement de chaussée :

- Le trafic.
- L'environnement de la route (le climat essentiellement).
- Le sol support.

VI.2 Les différents types de chaussées :

VI.2.1 Chaussée souple :

La chaussée souple est constituée de deux éléments constructifs :

- Les sols et matériaux pierreux granulométrie étalée ou serrée.
- Les liants hydrocarbonés qui donnent de la cohésion en établissant des liaisons souples entre les grains de matériaux pierreux.

La chaussée souple se compose généralement de trois couches différentes.

VI.2.1.1 Couche de roulement :

La couche de surface subit directement les agressions du trafic et du climat, elle a un rôle essentiel d'encaisser les efforts de cisaillement provoquer par la circulation.

Elle est en général composée d'une couche de roulement qui a pour le rôle :

- D'imperméabiliser la surface de chaussée
- D'assurer la sécurité (l'adhérence)
- D'assurer le confort des usages (diminution de bruit, bon uni)

VI.2.1.2 Couche de base :

Pour résister aux déformations permanentes sous l'effet de trafic ainsi lâche du sol, elle reprend les efforts verticaux et repartis les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

VI.2.1.3 Couche de fondation :

Elle assure un bon uni et bon portance de la chaussée finie, et aussi, elle au même rôle que celui de la couche de base.

VI.2.1.4 Couche de forme :

A court terme : La couche de forme doit assurer la traficabilité quasi tout temps des engins approvisionnant les matériaux de la couche de fondation, permettre le compactage efficace de la couche de fondation, satisfaire les exigences de nivellement de la plateforme support de chaussée et assurer la protection de l'arase de terrassement vis-à-vis des agents climatiques dans l'attente de la réalisation de la chaussée.

A long terme : Elle doit permettre de l'homogénéiser la portance du support pour concevoir des chaussées d'épaisseur constante, de maintenir dans le temps, en dépit des fluctuations de l'état hydrique des sols supports sensibles à l'eau, une portance minimale pouvant être estimée avec une précision suffisante au dimensionnement de la structure de chaussée et améliorer la portance de la plate-forme pour optimiser le coût de la structure de chaussée.

VI.2.2 Chaussée semi-rigide :

C'est un cas intermédiaire entre les chaussées souples et les chaussées rigides.

VI.2.3 Chaussée rigide :

Se compose d'une dalle de ciment portland fléchissant élastiquement sous les charges, reposant sur un sol compacté ou sur une mince fondation de pierre ou de gravier concassé, ou sur une fondation stabilisée.

VI.3 Méthodes de dimensionnements :

Pour le dimensionnement de corps de chaussée dans notre projet on va utiliser 3 méthodes :

- La méthode **CBR**.
- La méthode du catalogue de dimensionnement des chausses neuves.
- La méthode du catalogue français des structures de chaussée.

VI.3.1 Méthode CBR :

C'est une méthode semi empirique qui se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon du sol support en compactant les éprouvettes de (90 à 100%) de l'optimum Proctor modifié.

Pour que la chaussée tienne, il faut que la contrainte verticale répartie, suivant la théorie de BOUSSINESQ, soit inférieure à une contrainte limite qui est proportionnelle à l'indice CBR.

L'épaisseur est donnée par la formule suivante :

$$\mathbf{Eeq}= \frac{100 + \sqrt{P\left(75+50\log\frac{N}{10}\right)}}{ICBR+5}$$

Eeq : épaisseur équivalente.

ICBR: indice **CBR** (sol support).

N: désigne le nombre journalier de poids lourd à vide à l'année horizon.

P: charge par roue P = 6.5 **t** (essieu 13 **t**).

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$\mathbf{Eeq}= \sum_{i=1}^{n} ci \times ei$$

ci: coefficients d'équivalence de matériau par référence à un grave concassé.

ei: épaisseurs réelles des couches.

Tableau VI. 1 : Coefficient d`équivalence pour chaque matériau.

Matériaux utilises	Coefficient d`équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense :	
Epaisseur<5cm	1.7
Epaisseur=5cm	1.8
Epaisseur de 5cm a 7cm	2
Epaisseur >7cm	2.2
Grave bitume :	
Epaisseur≤10cm	1.2
Epaisseur>10cm	1.4
Epaisseur de l`ordre de 15cm	1.6
Epaisseur de l`ordre de 20cm	1.7
Sable ciment	1 à 1.2
Grave concasse ou gravier	1
TUF	0.7 a 0.8
Grave roulée – grave sableuse **T.V.O**	0.75
Sable	0.5
Grave ciment – grave laitier	1.5

VI.3.2 Méthode du catalogue de chaussée neuve :

L'exploitation d'un catalogue de dimensionnement implique l'utilisation des mêmes critères que ceux employés dans d'autres méthodes de dimensionnement des chaussées :

- Le trafic
- Les matériaux
- La capacité portante du sol.

Ces critères fournissent les données d'entrée nécessaires pour le dimensionnement, ce qui permet de choisir une structure de chaussée approprié.

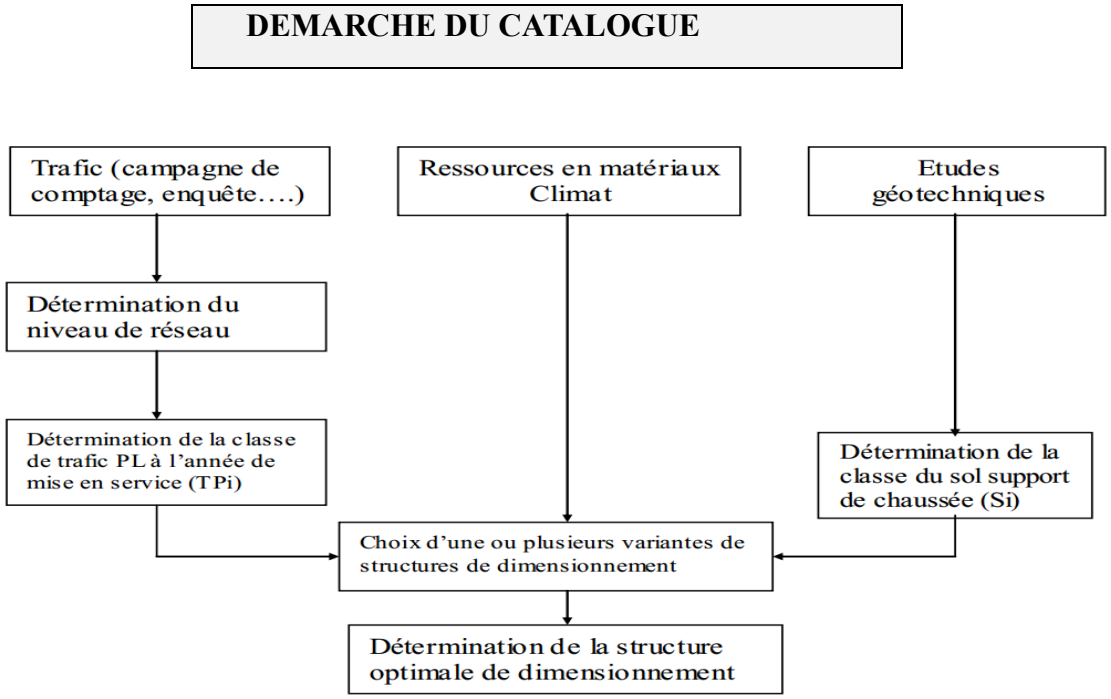


Figure VI. 2: Démarche du catalogue de chaussée neuve.

VI.3.3 Méthode du Catalogue français :

Le trafic est l'un des paramètres d'entrée du catalogue. Pour le dimensionnement des chaussées, il est nécessaire de connaître le nombre de poids lourds qu'aura à supporter la chaussée durant sa durée de vie **(TC).**

Pour le choix des couches de surface, il est nécessaire de connaître la classe de trafic **(Ti)** déterminée à partir de la moyenne journalière annuelle en **PL** à la mise en service **(MJA).**

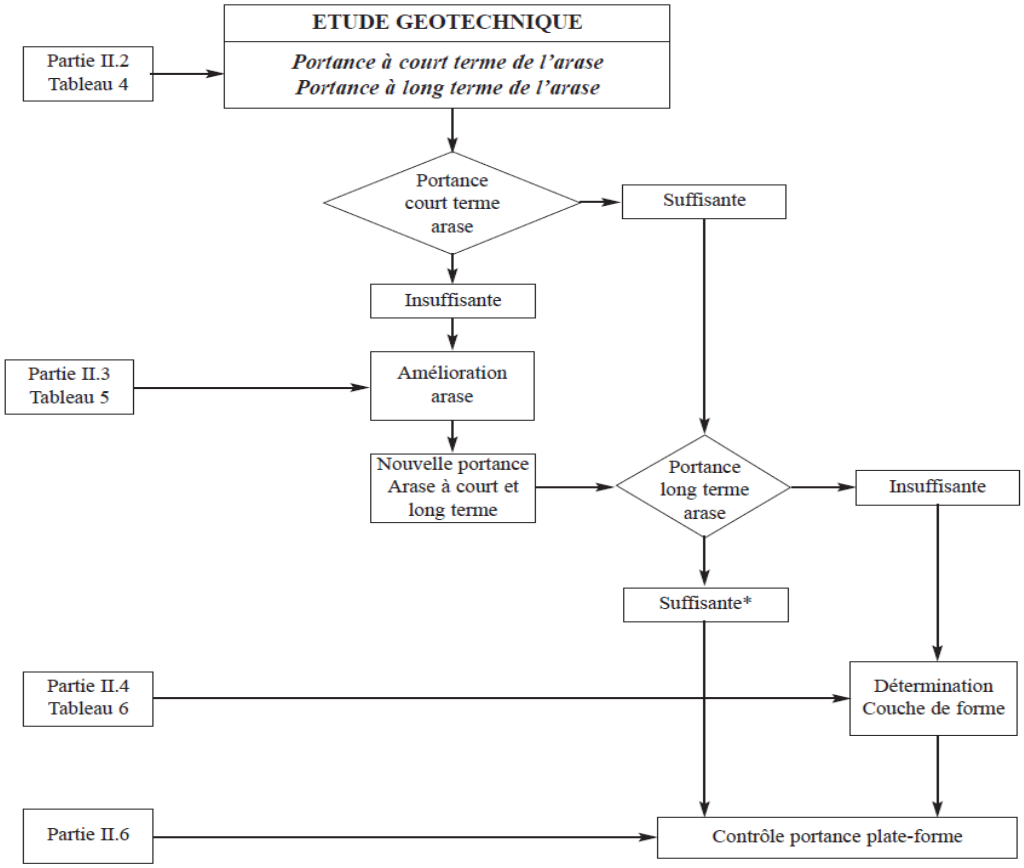


Figure VI. 3: Démarche du catalogue français.

VI.4 Application au projet :

VI.4.1 Méthode CBR :

Les données de projet :

- PL = **3.01%**
- **CBR** de sol = **2**
- **TJMA2027 = 27817 v/j/s**
- Durée de vie = **20ans**
- $\tau = 3.5\%$
- **PL2027 = 838 PL/j/s**
- **PL2047 = $838(1 + 0.035)^{20}$ = 1668 PL/j/s**

- Chaussée unidirectionnelle a 3 voies : 80% du trafic **PL** sur la voie lente de droite.

NPL2047 = $1668 \times 0.8 = 1335$ PL/j/s par la voie la plus chargée.

On calcule l`épaisseur équivalent :

$$Eeq = \frac{100 + \sqrt{6.5}\left(75 + 50\log\frac{1335}{10}\right)}{2+5}$$

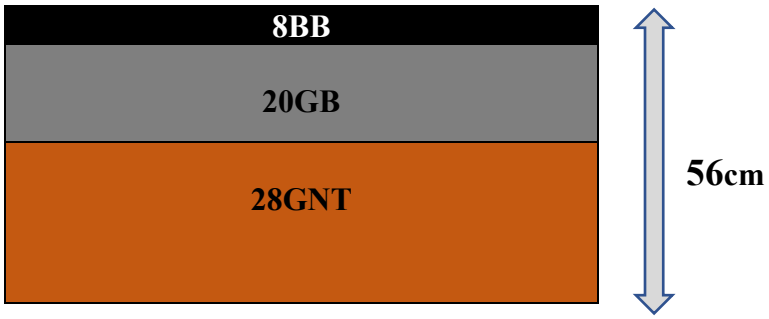
Eeq= 80 cm

On fixe les épaisseurs de couche de roulement (**BB**) et couche de base (**GB**) et on détermine l`épaisseur de **GNT :**

- Couche de roulement $e1 = 8cm$ **en (BB)** $c1 = 2.2$
- Couche de base $e2 = 22cm$ **en (GB)** $c2 = 1.7$
- Couche de fondation $e3 = ?$ **en (GNT)** $c3 = 1$

$$Eeq = e1 \times c1 + e2 \times c2 + e3 \times c3$$

$$80 = 8 \times 2.2 + 20 \times 1.7 + e3 \times 1 \Longrightarrow e3 = 28cm$$



VI.4.2 Méthode du catalogue de dimensionnements de chaussées neuves :

VI.4.2.1 Détermination du niveau de réseau principale (RPi) :

- L`année de mise en service **2027.**
- **TJMA2027 = 27817 v/j >1500 v/j**

Donc :

- Le type de réseau principale est **(RP1)**.

VI.4.2.2 Détermination de la classe de trafic (TPLi) :

- La classe de trafic **(TPLi)** est donnée en nombre de poids lourds par jours et par sens sur la voie la plus chargée a l`année de mise en service **2027.**

- **PL2027 = 838 PL/j/s**

TPL2027 = PL2027 × 0.8 = 671 PL/j/voie la plus chargée.

Tableau VI. 2 : classe de trafic poids lourds.

(TPLi)	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
(RP1)	150-300	300-600	600-1500	1500-3000	3000-6000

600 <TPL2027< 1500

- La classe de trafic est **TPL5.**

VI.4.2.3 Détermination de la portance de sol-support de chaussée :

Tableau VI. 3 : la portance de sol-support.

Portance (Si)	CBR
S4	< 5
S3	5-10
S2	10-25
S1	25-40
S0	> 40

- **CBR** de sol = **2**
- La portance de sol-support **S4.**

Remarque : les structures de chaussées sont construites sur le sol support, et d'après l'essai CBR ont a constaté que notre sol est de faible portance alors la présence de couche de forme est obligatoire.

Tableau VI. 4 : Sur classement avec couche de forme en matériau non traité.

Classe de portance de sol terrassé (Si)	Matériaux de couche de forme	Epaisseur de matériaux de couche de forme	Classe de portance de sol-support visée
S4	C_2A_1h	60cm (En 2 couches)	S2

Puisque notre projet est **(RP1)**, **S4** est un sol de faible portance donc il devient nécessaire de surclasser de **S4** a **S2** avec la mise en place de couche de forme de **60cm** (2 couches de **30cm** de **C_2A_1h**).

VI.4.2.4 Calcul de trafic cumule équivalent (TCEi) :

- Calcul de trafic cumulé de **PL** (**TCi**) :

  Le **TCi** est le de trafic cumulé de **PL** sur la période considéré pour le dimensionnement (Durée de vie) donnée par la formule suivante :

$$TCi = TPLi \times 365 \times \frac{(1+i)^{n}-1}{i}$$

i : Taux d`accroissement géométrique 4%.
n : durée de vie considérée 20ans.

$$TCi = 671 \times 365 \times \frac{(1+0.04)^{20}-1}{0.04}$$

$$TCi = 7.3 \times 10^{6}$$

Calcul de Trafic cumule équivalent :

$$TCEi = TCi \times A$$

A : Coefficient d`agressivité de PL par rapport à l`essieu de référence de 13t.

Tableau VI. 5 : Coefficient d`agressivité de PL par rapport à l`essieu de référence de 13t.

Niveau de réseau principal (RPi)	Type de matériau et structure	Valeurs de A
(RP1)	Chaussée a matériau traite au bitume : GB/GB, GB/GNT, GC/GC.	0.6

$$TCEi = 7.3\times 10^{6} \times 0.6$$

$$TCEi = 4.4 \times 10^{6} \text{ essieu équivalence de 13t}$$

VI.4.2.5 Choix de dimensionnements :

- Zone climatique I.

Tableau VI. 6 : Zone climatique de Pluviométrie.

Zone climatique	Pluviométrie	Climat	Région
I	> 600	**Très humide**	**Nord**

Tableau VI. 7 : Température équivalente θeq (°C).

	Zone climatique		
Température équivalente θeq (°C)	I et II	III	IV
	20	25	30

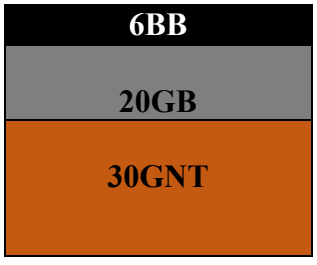
- **TPL5.**
- Taux d`accroissement 4%.
- Durée de vie **20ans.**
- Le type de réseau principale **(RP1)**.
- Classe de portance **S2**

Les structures possibles :

a) Matériaux traités au bitume :

Structure 1 :

- **GB/GNT**



Structure 2 :

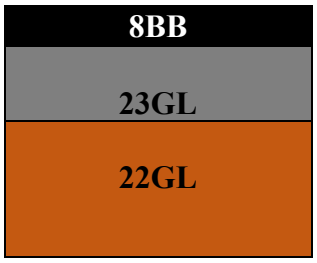
- **GB/GB**



Structure3 :

b) Matériaux traités au liants hydrauliques :

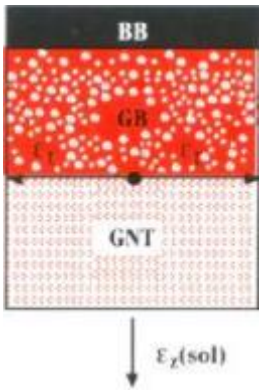
- **GL/GL**



i. Structure 1 :

6(BB) + 20(GB) + 30(GNT)

- **Mode de fonctionnement de la structure 1 :**



VI.5 Vérification en fatigue des structures et de la déformation du sol support de la structure 1 :

Il faut vérifier que ε_t et ε_z à l`aide d`Alize, sont inferieur aux valeurs admissibles calcules ε_{tadm} et ε_{zadm}.

ε_t : la déformation de traction par flexion a la base des matériaux traites aux bitumes.

ε_z : la déformation verticale sur le sol-support.

VI.5.1 Calcul de déformation admissible (ε_{zadm}) du sol support :

La valeur admissible est donnée par la relation empirique :

$$\varepsilon_{zadm} = 22 \times 10^{-3} \times (TCEi)^{-0.235}$$

$$\varepsilon_{zadm} = 22 \times 10^{-3} \times (4.4 \times 10^{6})^{-0.235}$$

$$\varepsilon_{zadm} = 604 \times 10^{-6}\, def = 604 \mu def$$

VI.5.2 Calcul de déformation admissible de traction ε_{tadm} :

$$\varepsilon_{tadm} = \varepsilon_6\,(10°C, 25Hz) \times Kne \times K\theta \times Kr \times Kc$$

ε_6 (10°C, 25Hz) : déformation limite détenue au bout de 10' cycles avec une probabilité de rupture de **50%** à **10°C** et **25Hz** (essai de fatigue).

Kne : facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée.

Kθ : facteur lié à la température.

Kr : facteur lié au risque et aux dispersions.

Ke : facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement observé sur chaussées.

Avec :

$$\mathbf{Kne} = \left(\frac{\mathbf{TCEi}}{10^6}\right)^b \quad , \quad \mathbf{K\theta} = \sqrt{\frac{E(10℃)}{E(20℃)}} \quad , \quad \mathbf{Kr} = 10^{-tb\delta}$$

TCEi : trafic en nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée.

b : pente de la droite de fatigue **(b<0).**

E (10°C) : Module complexe du matériau bitumineux à **10°C.**

E (20eq) : Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considérée.

$$\boldsymbol{\delta} = \sqrt{\mathbf{SN}^2 + \left(\frac{c}{b}\boldsymbol{Sh}\right)^2}$$

δ : f (dispersion).

SN : dispersion sur la loi de fatigue.

Sh : dispersion sur les épaisseurs (en cm).

c : coefficient égal à 0,02.

t : fractile de la loi normale, qui est fonction du risque adopté (r%).

Tableau VI. 8 : Risque adopte pour le réseau RP1.

	Classe de trafic (TPLi)	**TPL3**	**TPL4**	**TPL5**	**TPL6**	**TPL7**
Risque (%)	**GB/GB** **GB/GNT….**	**20**	**15**	**10**	**5**	**2**

Tableau VI. 9 : Valeurs de t = f(r%).

r (%)	10
t	-1.282

Tableau VI. 10 : Performance mécanique des matériaux bitumineux.

Matériau (MTB)	E (30°C,10Hz) (Mpa)	E(25°, 10Hz) (Mpa)	E(20°, 10Hz) (Mpa)	E(10°,10Hz) (Mpa)	ε_6(10°, 25Hz) (10^{-6})	-1/b	SN	Sh (cm)	υ	kc Calage
BB	2500	3500	4000	-	-	-	-	-	0,35	-
GB	3500	5500	7000	12500	100	6,84	0,45	3	0,35	1,3
SB	1500	-	-	3000	245	7,63	0,68	2,5	0,45	1,3

- **E (20°C, $10Hz$) = 7000 MPA**
- **E (10°C , $10Hz$) = 12500 MPA**
- **ε_6 (10°C , 25Hz) = 100×10^{-6}**
- **$\frac{-1}{b} = 6.84$**
- **SN = 0.45**
- **Sh = 3cm**
- **$\nu = 0.35$**
- **Kc = 1.3**

$$\delta = \sqrt{SN^2 + (\frac{C}{b} Sh\ )^2} = \sqrt{0.45^2 + (\frac{0.02}{-0.146} \times 3\ )^2} = 0.609$$

$$Kne = (\frac{TCEi}{10^6})^b = (\frac{4.4 \times 10^6}{10^6})^{-0.146} = 0.805$$

$$K\theta = \sqrt{\frac{E(10℃)}{E(20℃)}} = \sqrt{\frac{12500}{7000}} = 1.336$$

$$Kr = 10^{-tb\delta} = 10^{-(-1.282)(-0.146)\times 0.609} = 0.769$$

$$Kc = 1.3$$

$$\varepsilon_{tadm} = \varepsilon_6 (10℃, 25Hz) \times Kne \times K\theta \times Kr \times Kc$$

$$\varepsilon_{tadm} = 100 \times 10^{-6} \times 0.805 \times 1.336 \times 0.769 \times 1.3$$

$$\varepsilon_{tadm} = 107 \times 10^{-6}\ def = 107\ \mu def$$

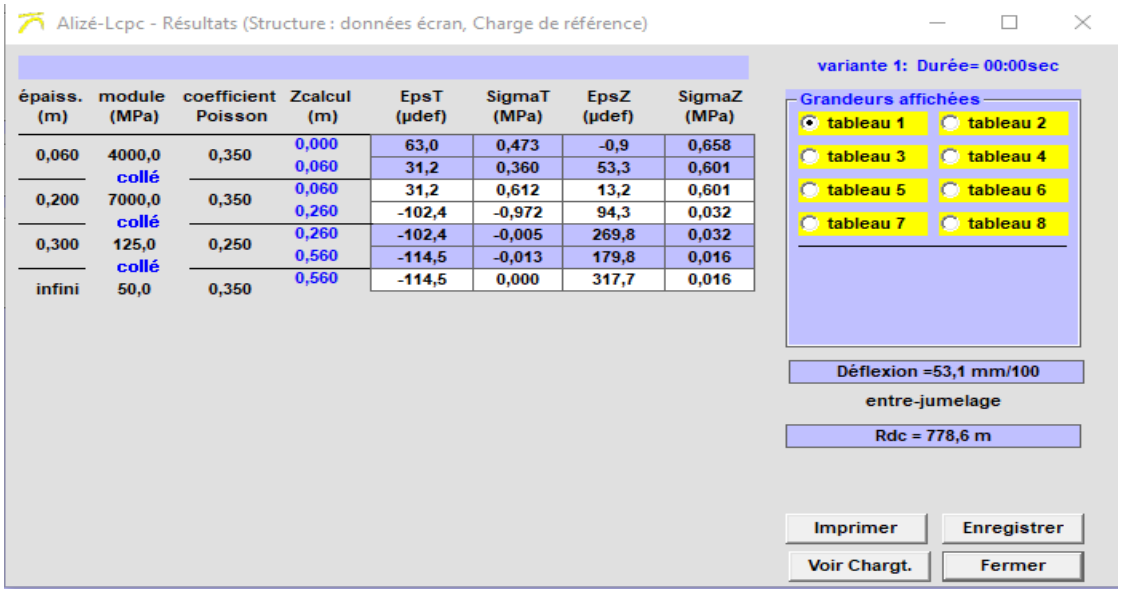
VI.5.3 Modélisation avec ALIZE :

Les performances mécaniques des matériaux :

- **Couche de roulement (6BB) :** E(20℃,10HZ) =4000 MPA $\nu = 0.35$
- **Couche de base (20GB) :** E(20℃,10HZ) =7000 MPA $\nu = 0.35$
- **Couche de fondation(30GNT) :** à l'aide de fascicule 2 page 19 tableau 15

Les sol support est de portance S_2 ⟶ E=50 MPA

E_{GNT}=K× $E_{sol\ support}$ = 2.5 ×50=125 MPA **$\nu = 0.25$**



épaiss. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,060	4000,0	0,350	0,000	63,0	0,473	-0,9	0,658
	collé		0,060	31,2	0,360	53,3	0,601
0,200	7000,0	0,350	0,060	31,2	0,612	13,2	0,601
	collé		0,260	-102,4	-0,972	94,3	0,032
0,300	125,0	0,250	0,260	-102,4	-0,005	269,8	0,032
	collé		0,560	-114,5	-0,013	179,8	0,016
infini	50,0	0,350	0,560	-114,5	0,000	317,7	0,016

Vérification :

Figure VI. 4 : Vérification de la structure 1 par ALIZE.

1. **A la base de GB :**

$\varepsilon_{tadm} = 107 \times 10^{-6}\ def$ **et** $\varepsilon_t = 102.4 \times 10^{-6}\ def$

$$\varepsilon_{tadm} > \varepsilon t$$

2. **Sol support :**

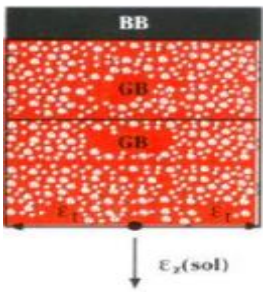
$\varepsilon_{zadm} = 604 \times 10^{-6}\ def$ **et** $\varepsilon_z = 317{,}7 \times 10^{-6}\ def$

$$\varepsilon_{zadm} > \varepsilon_z$$

La structure est vérifiée.

ii. Structure 2 : 8(BB)+11(GB)+12(GB)

Mode de fonctionnement de la structure 2 :



VI.6 Vérification en fatigue des structures et de la déformation du sol support de la structure 2 :

VI.6.1 Calcul de déformation admissible (ε_{zadm}) du sol support :

La valeur admissible est donnée par la relation empirique :

$$\varepsilon_{zadm} = 22 \times 10^{-3} \times (TCEi)^{-0.235}$$

$$\varepsilon_{zadm} = 22 \times 10^{-3} \times (4.4 \times 10^{6})^{-0.235}$$

$$\varepsilon_{zadm} = 604 \times 10^{-6}\, def = 604 \mu def$$

VI.6.2 Calcul de déformation admissible de traction (ε_{tadm}) :

$$\varepsilon_{tadm} = \varepsilon_6 (10℃, 25Hz) \times Kne \times K\theta \times Kr \times Kc$$

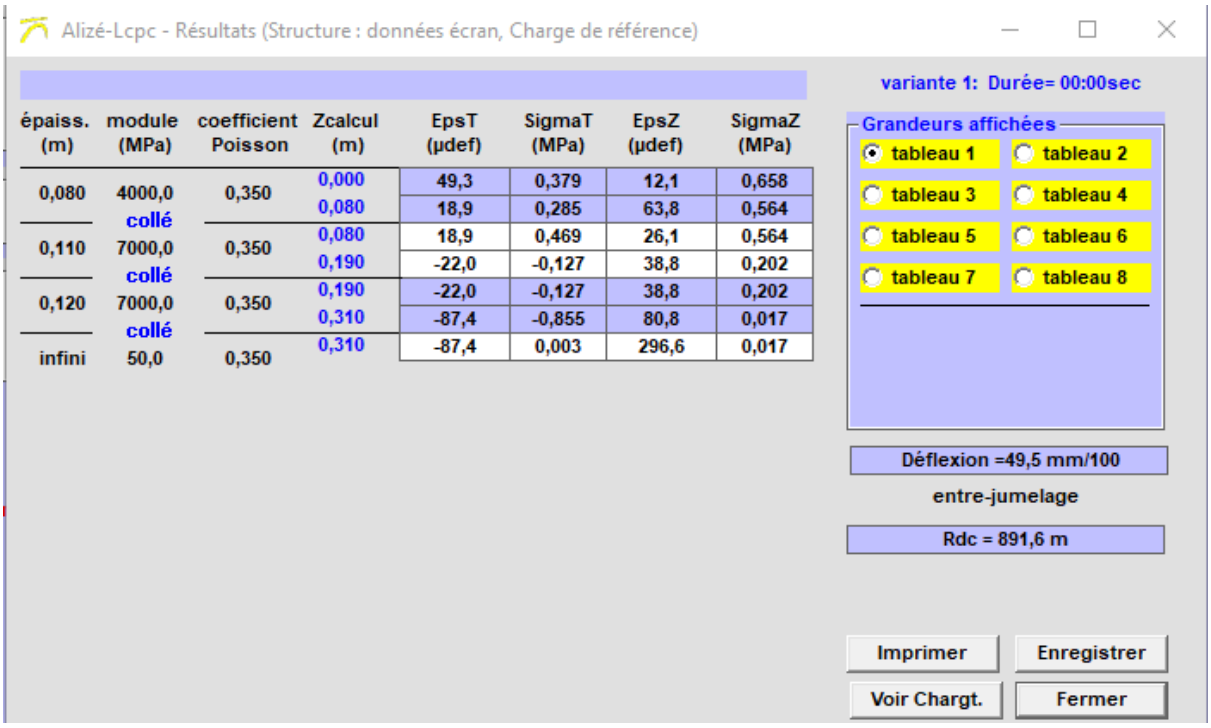
$$\varepsilon_{tadm} = 100 \times 10^{-6} \times 0.805 \times 1.336 \times 0.769 \times 1.3$$

$$\varepsilon_{tadm} = 107 \times 10^{-6}\, def = 107\, \mu def$$

VI.6.3 Modélisation avec ALIZE :

Les performances mécaniques des matériaux :

- **Couche de roulement (8BB) :** E(20℃,10HZ) =4000 MPA $\nu = 0.35$
- **Couche de base (11GB) :** E(20℃,10HZ) =7000 MPA $\nu = 0.35$
- **Couche de fondation(12GB) :** E(20℃,10HZ) =7000 MPA $\nu = 0.35$



épaiss. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,080	4000,0	0,350	0,000	49,3	0,379	12,1	0,658
	collé		0,080	18,9	0,285	63,8	0,564
0,110	7000,0	0,350	0,080	18,9	0,469	26,1	0,564
	collé		0,190	-22,0	-0,127	38,8	0,202
0,120	7000,0	0,350	0,190	-22,0	-0,127	38,8	0,202
	collé		0,310	-87,4	-0,855	80,8	0,017
infini	50,0	0,350	0,310	-87,4	0,003	296,6	0,017

Figure VI. 5 : Vérification de la structure 2 par ALIZE.

Vérification :

1. **A la base de GB :**

$\varepsilon_{tadm} = 107 \times 10^{-6}\ def$ **et** $\varepsilon_t = 87.4 \times 10^{-6}\ def$

$\varepsilon_{tadm} > \varepsilon_t$

2. **Sol support :**

$\varepsilon_{zadm} = 604 \times 10^{-6}\ def$ **et** $\varepsilon_z = 296.6 \times 10^{-6}\ def$

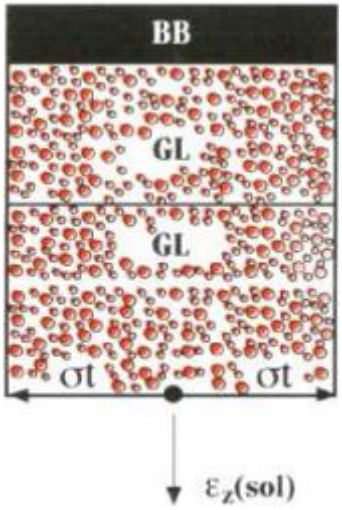
$\varepsilon_{zadm} > \varepsilon_z$

La structure est vérifiée.

iii. Structure 3 :

8BB+23GL+22GL

Mode de fonctionnement de la structure :



- σ_t Étant la contrainte de traction flexion a la base des matériaux traités aux liants hydrauliques.
- ε_Z (Sol) étant la déformation verticale sur le sol support.

VI.7 Vérification en fatigue des structures et de la déformation du sol support de la structure 3 :

VI.7.1 Calcule de sollicitations admissibles :

Le calcul de la contrainte admissible de traction σ_{tad} a la base de la couche traitées aux liants hydrauliques est donné par la relation suivante :

$$\boldsymbol{\sigma_{tad}=\sigma_6 \times Kne \times Kr \times Kd \times Kc}$$

Où :

$\boldsymbol{\sigma_6}$: contrainte de flexion limite a 10^6cycle donné par l'essai de fatigue

Kne, **Kr**, **Kc**: idem matériaux traités au bitume

Kd : facteur lié aux effets des discontinuités(fissures) et gradient thermique (dalles en béton).

$\boldsymbol{\sigma_{tad}}$ Peut s'écrire de façon suivante :

$$\boldsymbol{\sigma_{tad}=\sigma_6 \times \left(\frac{TCEi}{10^6}\right)^b \times 10^{-tb\delta}\ Kd \times Kc}$$

Tableau VI. 11 : Performances mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques.

Matériaux (MTLH)	E (MPa)	σ6 (MPa)	-1/b	SN	Sh (cm)	υ	kd	kc
GL	20000	0,50	18,4	1,24	3	0,25	1	1,5

$\frac{-1}{b}$=18.4 ⟹ b=-0.054 avec t=-1.282

$$\mathbf{Kne= \left(\frac{TCEi}{10^6}\right)^b = \left(\frac{4.4\times 10^6}{10^6}\right)^{-0.054} = 0.923}$$

σ_6 =5bar

$$\boldsymbol{\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{C}{b}Sh\right)^2} = \sqrt{1.24^2 + \left(\frac{0.02}{-0.054}\times 3\right)^2} = 1.665}$$

Kr= 0.767

$$\boldsymbol{\sigma_{tad} = \sigma_6 \times \left(\frac{TCEi}{10^6}\right)^b \times 10^{-tb\delta}}$$ **Kd×KC =5.31bar**

VI.7.2 Calcul de déformation admissible (ε_{zadm}) du sol support :

La valeur admissible est donnée par la relation empirique :

$$\boldsymbol{\varepsilon_{zadm} = 22\times 10^{-3} \times (TCEi)^{-0.235}}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon_{zadm} = 22\times 10^{-3} \times (4.4\times 10^6)^{-0.235}}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon_{zadm} = 604 \times 10^{-6}\, def = 604 \mu def}$$

VI.7.3 Modélisation avec ALIZE :

Les performances mécaniques des matériaux :

- **Couche de roulement (8BB) :** E(20°C,10HZ) =4000 MPA $\boldsymbol{\nu = 0.35}$
- **Couche de base (22GL) :** E=20000 MPA $\boldsymbol{\nu = 0.25}$
- **Couche de fondation (23GL) :** E=20000 MPA $\boldsymbol{\nu = 0.25}$

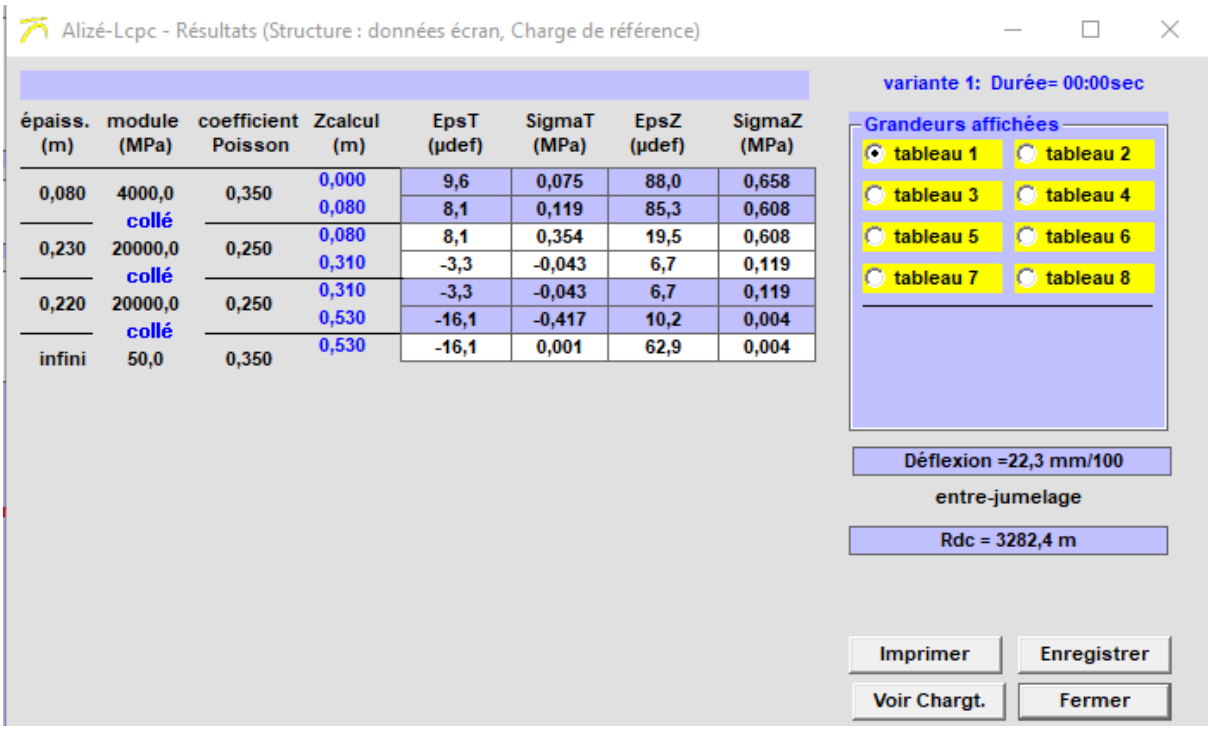


Figure VI. 6 : Vérification de la structure 3 par ALIZE.

Vérification :

1. **Sol support :**

$\varepsilon_{zadm} = 604 \times 10^{-6}\ def$ et $\varepsilon_z = 62.9 \times 10^{-6}\ def$ ⟶ $\boldsymbol{\varepsilon_{zadm} > \varepsilon_z}$

2. **A la base de GL :**

$\boldsymbol{\sigma_{tad}}$ **=5.31bar et** $\boldsymbol{\sigma_t}$**=0.417MPA** ⟶ $\boldsymbol{\sigma_t}$**=4.17bar** ⟶ $\boldsymbol{\sigma_{tad} > \sigma_t}$

La structure est vérifiée.

VI.7.4 Catalogue français :

VI.7.4.1 Détermination de la classe de trafic (Ti).

Cette classe de trafic (Ti) est nécessaire pour le choix des couches de surface et des caractéristiques de matériaux à utiliser.

La MJA : est la moyenne journalière annuelle par sens, en PL, à la mise en service.

Les classes de **(Ti)** retenues sont contenues dans le tableau suivant :

Tableau VI. 12 : Les classes de (Ti) retenues sont contenues.

MJA PL/sens	0-25	25-50	50-85	85-150	150-300	300-750	750-1000	2000-5000	5000
Classe	T5	T4	$T3^-$	$T3^+$	T2	T1	T0	TS	Texp

PL2027 = 838 PL/j/s ⟹ **CLASSE : T0**

VI.7.4.2 Détermination de la classe de trafic cumulé (TCi) :

Il s'agit de déterminer le nombre total de **PL** que devra supporter la chaussée durant sa durée de vie.

Le trafic cumulé **(TC)** est obtenu à partir de la relation suivante :

$$TC = 365 \times N \times \left[d + \frac{t \times d \times (d-1)}{2}\right] \times r$$

$$TC = 365 \times 838 \times \left[20 + \frac{0.035 \times 20 \times (20-1)}{2}\right] \times 1 = 8.2 \times 10^6$$

N : nombre de PL par jour à la mise en service par sens de circulation.

t : taux de croissance linéaire annuel du trafic.

d : durée de vie, en années.

r : traduit la répartition transversale des PL. (Routes unidirectionnelles ..... r = 1)

Les classes TCi retenues sont continués dans le tableau suivant :

Tableau VI. 13 : Les classes TCi retenues.

Classe (TCi)	TC0	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8
Valeur limites **TC** en **PL** (10^6)	0.01 a 0.1	0.1 a 0.2	0.2 a 0.5	0.5 a 1.5	1.5 a 2.5	2.5 a 6.5	6.5 a 17.5	17.5 a 43.5	> 43.5

TC = 8.2×10^6 ⟹ **TC6**

VI.7.4.3 Détermination des portances à court terme et à long terme les plus probables des conditions usuelles :

Tableau VI. 14 : Détermination des portances à court terme et à long terme.

	Classification géotechnique (G.T.R.) usuelle	**A1 – A2**
PORTANCE A COURT TERME DU SOL. (Estimations en MPa)	**Conditions favorables** - période estivale, temps Sec	**≥ 40**
	Conditions moyennes - printemps et automne peu Pluvieux, été médiocre	**15 a 40**
	Conditions mauvaises - période hivernale où Longue période pluvieuse	**Non Mesurable à 15**
PORTANCE A LONG TERME.	Portance à long terme (sans traitement ou couche de forme) une fois la chaussée construite.	**20 a < 50**

VI.7.4.4 Amélioration de la portance de l'arase :

Pour réaliser le chantier, il est indispensable d'avoir une arase d'au moins 30 MPa.

- **Traitement en place :**

La grande majorité des sols traités concerne des sols fins plus ou moins plastiques (sols A1 ou A2) pour lesquels il est possible de donner, à titre indicatif, la définition du traitement (nature et dosage du « liant ») et l'apport de ce traitement en termes de portance obtenue. Tableau ne borne pas les valeurs de portance obtenues après traitement.

- **Amélioration de la portance de l'arase par traitement de sol en place :**

Tableau VI. 15 : Amélioration de la portance.

CLASSE DE SOL	SOLS FINS ET ARGILES	
Définition indicative du traitement	Limons type A1 ou A2 : - traitement par 2 à 4 % de chaux	
Portance en MPa avant traitement	Non mesurable à 15 conditions mauvaises	15 à 40 conditions moyennes
Portance (*) en MPa Après traitement sur 35 cm (D'épaisseur efficace)	**≥ 20**	**≥ 30**
Portance (*) en MPa Après traitement sur 50 cm (D'épaisseur efficace)	**≥ 30**	**≥ 40**

Epaisseur de la couche de forme pour obtenir une portance à long terme de la plate-forme en fonction de la portance de l'arase lors des travaux et du type de forme :

Tableau VI. 16 : Epaisseur de la couche de forme.

PORTANCE DE L'ARASE dans des conditions moyennes / **NATURE SOL**	**30 à 40 MPa**
Sols traités en place : - limon (sol A) traité à la chaux (0 à 3 %) et avec un liant hydraulique (5 à 8 %).	**35 cm → PF2** **50 cm → PF3** (2 couches) Cas non considéré
Grave non traitée : Graves calcaires concassés.	**40 cm → PF2**

Remarque : Pour augmenter la portance de sol on ajoute une épaisseur de 40cm de C_2A_1h en couche de forme (matériaux extrait de gite d'emprunt N6).

VI.7.4.5 Dimensionnement des structures :

Pour ce catalogue nous avons retenu les hypothèses du catalogue national pour le réseau non structurant (VRNS). Il s'agit donc d'une durée de vie de l'ordre de 20 ans.

- **Structures retenues :**

Dans ce paragraphe sont indiqués, pour les familles de structures retenues :

- Les matériaux utilisés en assises.
- Les combinaisons des différents matériaux utilisés,
- Les conditions de collage aux interfaces des couches.

On choisit :

- **Structures bitumineuses épaisses**

Les matériaux utilisés sont les suivants :

- Enrobé à module élevé de classe 2 (EME 2).

Les calculs de structures ont été réalisés selon la méthode décrite dans le guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussées.

- **Coefficient agressivité :**

Tableau VI. 17 : Coefficient d'agressivité structurelle moyen du trafic.

Couche concernée ou type de structure	Classe de trafic Tci			
	TC0 - TC1	TC2	TC3	≥ TC4
Bitumineuse épaisse	0.4	0.5	0.5	0.5
Plate-forme	0.4	0.5	0.75	1

- **Nombre d'essieux équivalent :**

Tableau VI. 18 : Nombre d'essieux équivalent utilise dans le dimensionnement des structures (En millions).

Classe de trafic / Type de structure	TC0	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8
Bitumineuse épaisse	**0.025**	**0.05**	**0.1**	**0.3**	**0.8**	**2**	**5**	**13**	**30**

- **Valeurs des risques de calcul :**

Tableau VI. 19 : Valeurs des risques de calcul.

Classe de trafic / Type de structure	≤TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8
Bitumineuse épaisse	**30%**	**30%**	**18%**	**10%**	**5%**	**2%**	**1%**	**1%**

iv. La structure 4 :



VI.7.4.6 Calcul de déformation admissible (ε_{zadm}) du sol support :

La valeur admissible est donnée par la relation empirique :

Avec :

$$TCEi = TCi \times A$$
$$TCEi = 5 \times 0.5 \times 10^6 = 2.5 \times 10^6$$

$$\varepsilon_{zadm} = 22 \times 10^{-3} \times (TCEi)^{-0.235}$$

$$\varepsilon_{zadm} = 22 \times 10^{-3} \times (2.5 \times 10^6)^{-0.235}$$

$$\varepsilon_{zadm} = 690 \times 10^{-6}\, def = 690 \mu def$$

- **Performances mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques :**

Tableau VI. 20 : Performances mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques.

MATERIEUX	E en MPa (10°C,10 Hz)	E en MPa (15°C,10 Hz)	E en MPa (20°C,10 Hz)	ε_6 (10°C,25 Hz) . 10^{-6}	-1/b	SN	Sh (en m)	Kc
EME2	17000	14000	11000	130	5	0.25	**	1

**: Sh = 0,01 m si h < 0,10 m

Sh = 0,01 + 0,3 x (h - 0,1) si 0,1 m ≤ h ≤ 0,15 m

Sh = 0,025 m si h > 0,15 m

r = 2% ⟹ t = -2.054

$$\delta = \sqrt{SN^2 + (\frac{C}{b} Sh)^2} = \sqrt{0.25^2 + (\frac{0.02}{-0.2} \times 0.025)^2} = 0.25$$

$$Kne = (\frac{TCEi}{10^6})^b = (\frac{2.5 \times 10^6}{10^6})^{-0.146} = 0.875$$

$$K\theta = \sqrt{\frac{E(10℃)}{E(20℃)}} = \sqrt{\frac{17000}{11000}} = 1.243$$

$$Kr = 10^{-tb\delta} = 10^{-(-2.054)(-0.2)\times 0.25} = 0.79$$

$$Kc = 1$$

VI.7.4.7 Calcul de déformation admissible de traction ε_{tadm} :

$$\varepsilon_{tadm} = \varepsilon_6 (10℃, 25Hz) \times Kne \times K\theta \times Kr \times Kc$$

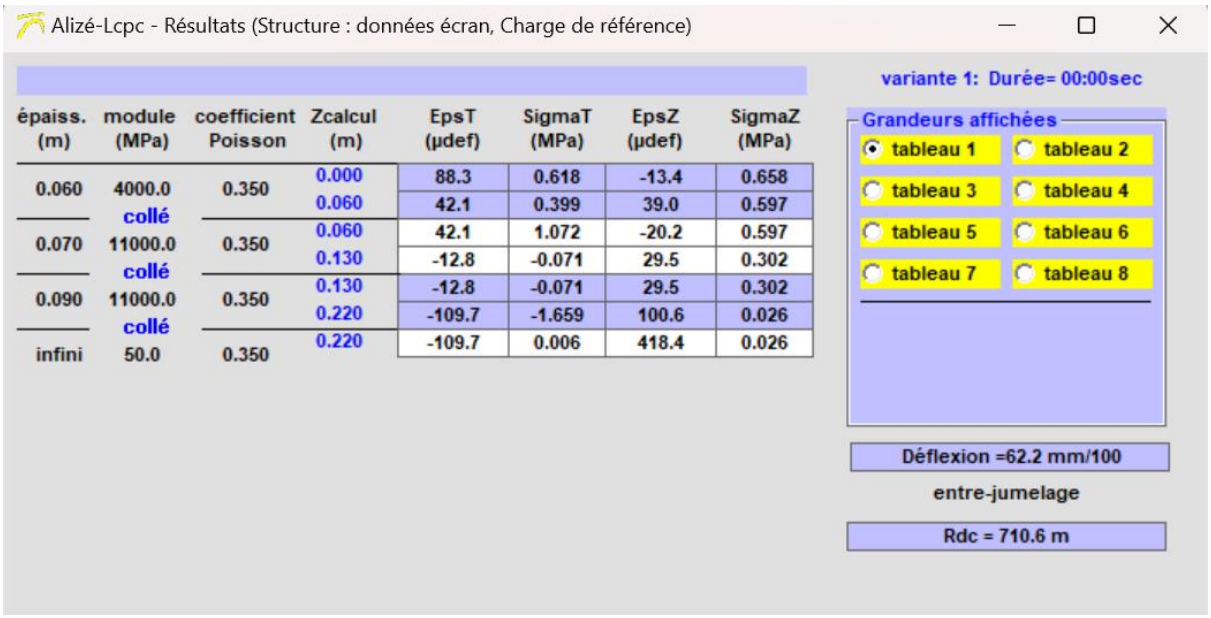
$$\varepsilon_{tadm} = 130 \times 10^{-6} \times 0.875 \times 1.243 \times 0.79 \times 1$$

$$\varepsilon_{tadm} = 111 \times 10^{-6}\, def = 111\, \mu def$$

VI.7.4.8 Modélisation avec ALIZE :

Les performances mécaniques des matériaux :

- **Couche de roulement (8BB) :** E(20℃,10HZ) =4000 MPA $\nu = 0.35$
- **Couche de base (9EME2) :** E=11000 MPA $\nu = 0.35$
- **Couche de fondation(10EME2) :** E=11000 MPA $\nu = 0.35$



épaiss. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0.060	4000.0	0.350	0.000	88.3	0.618	-13.4	0.658
	collé		0.060	42.1	0.399	39.0	0.597
0.070	11000.0	0.350	0.060	42.1	1.072	-20.2	0.597
	collé		0.130	-12.8	-0.071	29.5	0.302
0.090	11000.0	0.350	0.130	-12.8	-0.071	29.5	0.302
	collé		0.220	-109.7	-1.659	100.6	0.026
infini	50.0	0.350	0.220	-109.7	0.006	418.4	0.026

Figure VI. 7 : Vérification de la structure 4 par ALIZE.

Vérification :

1. **A la base de GB :**

$\varepsilon_{tadm} = 111 \times 10^{-6}\, def$ **et** $\varepsilon_t = 81 \times 10^{-6}\, def$

$\varepsilon_{tadm} > \varepsilon t$

2. **Sol support :**

$\varepsilon_{zadm} = 690 \times 10^{-6}\, def$ **et** $\varepsilon_z = 306 \times 10^{-6}\, def$

$\varepsilon_{zadm} > \varepsilon_z$

La structure est vérifiée.

VI.8 Conclusion :

Le dimensionnement du corps de chaussée selon la méthode CBR améliorée et la méthode du catalogue algérien des chaussée neuves et le catalogue français a produit les résultats suivants :

Tableau VI. 21 : tableau récapitulatif du corps de chaussée par les 4 méthodes.

Couche	Structure 1	Structure 2	Structure 3	Structure 4 Par la méthode du catalogue français	Structure par la méthode de CBR
Couche de roulement	6BB	8BB	8BB	6BB	8BB
Couche de base	20GB	12GB	23GL	7EME2	20GB
Couche de fondation	30GNT	11GB	22GL	9EME2	30GNT
Couche de forme	60cm de C_2A_1h (en 2 couches de 30cm)	60cm de C_2A_1h (en 2 couches De 30 cm)	60cm de C_2A_1h (en 2 couches De 30 cm)	40cm de C_2A_1h	/

- ✓ La méthode CBR recommande une structure de chaussée des épaisseurs moindres par rapport à celles préconisées par la méthode des 2 catalogues.

Nous proposons d'appliquer la méthode des 2 catalogues de dimensionnement de chaussée, car elle repose sur des lois de comportement a la fatigue, assurant ainsi une meilleure résistance face aux charges agressives. Les 4 variantes de chaussée présentent des avantages et inconvénients l'une par rapport à l'autre :

La 1ere variante, structure bitumineuse avec couche de base en Grave Bitume et couche de fondation en Grave non Traite, son inconvénient est l'utilisation des grandes épaisseurs.

La 2eme variante, structure bitumineuse avec couche de base en Grave Bitume a l'avantage de la maîtrise et facilité d'exécution vue l'expérience des entreprises pour ce type de chaussée, mais elle présente l'inconvénient de l'utilisation importante d'agrégats et de matériaux bitumineux.

La 3eme variante, structure bitumineuse avec couche de base et couche de fondation en Grave Laitier, son principe inconvénient est le phénomène de retrait, de plus ce matériau est indispensable en Algérie, et manque.

La 4eme variante, structure bitumineuse épaisse avec couche de base en enrobé à module élevé présente plus d'avantage : elle permet de réduire l'utilisation des agrégats et des matériaux bitumineux et elle donne une meilleure résistance au fluage et à la fatigue ce qui prolonge la durée de vie de la route.

Les inconvénients de cette structure se résument au coût de construction plus élevé (3 à 5% plus coûteuse que la structure en GB) ainsi qu'au mode d'exécution plus délicat vue la sensibilité aux effets thermique, ces inconvénients sont de plus en plus maitrisés par les entreprises et l'expérience est déjà acquise sur des routes et rocades en Algérie, notamment sur l'Autoroute Est Ouest et de la 2ème Rocade d'Alger et les projets en cours.

Par suite de cette comparaison, nous recommandons l'adoption de la structure bitumineuse avec couche de base en EME pour la chaussée de notre projet, **6(BB) 7(EME2) 9(EME2)** avec une couche de forme de **40cm de C_2A_1h.**

VII.1 INTRODUCTION :

L'assainissement des voies de circulation comprend l'ensemble des dispositifs à prévoir et à réaliser pour récolter et évacuer toutes les eaux superficielles et les eaux souterraines, c'est à dire :

- L'assèchement de la surface de circulation pars des pentes transversale et longitudinale, par des fossés, caniveaux…etc.

- Les drainages : ouvrages enterrés récoltant et évacuant les eaux souterraines (tranchées drainantes et canalisations drainants).

- Les canalisations : ensemble des ouvrages destinés à l'écoulement des eaux superficielles (conduites, chambre, cheminées, ...).

La présence d'eau au niveau de la chaussée à plusieurs inconvénients :

Inondation, glissement de terrain, érosion, instabilité des talus, et dégradation de chaussée.

L'évaluation des débits des eaux pluviales sera faite en procédant à l'étude de l'hydrologie de la zone du projet et la mise en place du système de drainage sera définie en utilisant des méthodes appliquées en hydraulique routière.

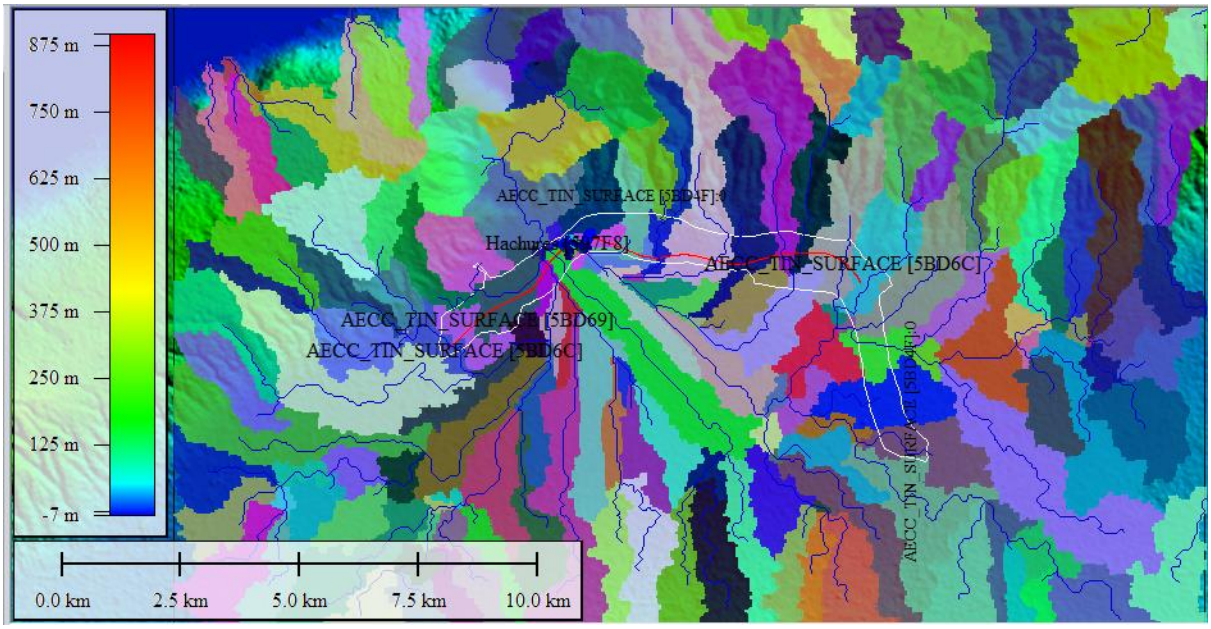
En général l'assainissement est l'ensemble des dispositions prise pour évacuer l'eau loin de la route.

VII.2 Conception technique des ouvrages :

L'assainissement routier concerne les volets suivants :
- le rétablissement des écoulements naturels.
- la collecte et l'évacuation des eaux superficielles dans l'emprise de la route.
- la collecte et l'évacuation des eaux internes c'est-à-dire le drainage.
- la lutte contre la pollution routière.

VII.3 Présentation des bassins versants :

Les différents bassins définis le long du tracé de l'autoroute sont reportés dans la figure :



Figures VII.1:les bassins versants délimités en utilisant le logiciel global mapper.

VII.4 ESTIMATIION DES DEBITS CRUES :

Le débit de projet correspond au débit de pointe pour une période de retour donnée, dimensionnant l'ouvrage hydraulique.

VII.4.1 Formule rationnelle :

$$Q_a = 0.278 \times C \times I \times A$$

Avec :

Q_a : débit de projet de période de retour, en m3/s.

C : coefficient de ruissellement* pondéré pour la période de retour (T).

I : intensité moyenne en mm/h, pour la période de retour (T) pendant le temps de concentration (t_C).

A : surface totale de bassin versant en km².

VII.4.2 Temps de concentration :

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire. Il est évalué à l'aide de formules usuelles :

- Ventura pour des superficies inférieures à 5 km².

- **Formule de Ventura (S < 5 Km²) :**

$$T_c = 0.27 \times \sqrt{\frac{S}{P}}$$

Avec :

Tc : Temps de concentration en heures.

S : Surface du bassin en km².

P : Pente moyenne du bassin versant en m/m.

- **Formule de Passini (5 < S < 25 km²) :**

$$T_c = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt[2]{P}}$$

Avec :

Tc : Temps de concentration en heures.

S : Superficie du bassin versant en km² (5 < S < 25 km²).

P : Pente moyenne du bassin versant en m/m.

L : Longueur du bassin versant en km.

- Giandotti pour les superficies supérieures à 25 km² mais inférieurs à 125 km².

- **Formule de Giandotti (25 < S < 125 km²) :**

$$T_c = \frac{(4\sqrt{S} + 1.5L)}{0.8\sqrt{H}}$$

Avec :

Tc : temps de concentration (heures).

A : superficie du bassin (km²).

L : longueur du thalweg principal (km).

H : Hmoy - Hmin en m.

Hmoy : altitude moyenne (m)= $\frac{\text{Hmax} + \text{Hmin}}{2}$.

Hmax : altitude maximale (m).

Hmin : altitude minimale (m).

VII.4.3 Coefficient de ruissèlement (C) :

Le coefficient de ruissellement est estimé par la méthode préconisée de KENESSEY qui est la somme de trois (03) coefficients partiels :

C1 : dépendant de la pente du bassin versant.

Tableau VII.1 : Coefficient C1

PENTE	C1
$P \leq 3.5\%$	0.01≤C1≤0.05
$3.5\% \leq P \leq 11\%$	0.06 ≤C1≤0.10
$11\% \leq P \leq 35\%$	0.12≤C1≤0.20
$> 35\%$	0.22≤C1≤0.30

C2 : dépendant de la nature du sol (perméabilité).

Tableau VII.2: Coefficient C2.

Nature du sol	C2
Imperméable	0.22≤C2≤0.30
Peu perméable	0.10≤C2≤0.20
Perméable	0.06≤C2≤0.10
Très perméable	0.03≤C2≤0.05

C3 : dépendant de la couverture végéta le du bassin versant.

Tableau VII.3: Coefficient C3.

Couverture végétale	C3
Rocheux	0.22≤C3≤0.30
Prairie	0.17≤C3≤0.25
Champs	0.07≤C2≤0.15
Foret et territoire sableux	0.03≤C2≤0.05

VII.4.4 Intensité de pluie I(t) :

$$\mathbf{I\,(t, T) = a(t) \times t_c^{-b}}$$

Avec :

I : intensité de pluie exprimée en mm/h.

T : période de retour exprimé en ans (elle dépend de l'ouvrage à réaliser)

tc : temps de concentration en heures.

a et **b :** paramètres de Montana.

VII.5 ETUDE HYDROLOGIQUE :

L'étude hydrologique a pour objectif la détermination des débits de projet aux différents exutoires des bassins traversés par l'autoroute.

Dans le but de réaliser une étude analytique portant sur le comportement des bassins versants lors des évènements hydrologiques afin de déterminer le dimensionnement des ouvrages de franchissement de l'autoroute, nous avons délimité les différents bassins versants aux sites de passage le long de la rocade, objet de la présente étude.

Les coefficients de Montana (a ; b) pour chaque station et pour différentes périodes de retour sont présenté dans le tableau suivant :

Tableau VII.4: Coefficients de Montana (a et b) pour différentes périodes de retour.

Station	Paramètre de montana	PERIODE DE RETOUR (ans)		
		10ans	50ans	100ans
TIPAZA	a	25,2	33.6	37.2
	b	0.6	0.6	0.6

VII.6 Caractéristiques physiques des bassins versants :

Tableau VII. 5: Caractéristique des bassins versants.

BV	A(Km²)	H(m)	L(Km)	Cr = C_1 +C_2 +C_3	i (%)
BV1	**12.76**	**167**	**4.924**	**0.22**	**3.4**
BV2	**156**	**252**	**16.24**	**0.3**	**1.5**
BV3	**1.16**	**125**	**2.27**	**0.35**	**5.5**
BV4	**3.23**	**179**	**4.08**	**0.35**	**4.4**
BV5	**5.32**	**180**	**3.7**	**0.35**	**4.8**
BV6	**4.67**	**160**	**4.35**	**0.35**	**3.6**
BV7	**5.1**	**165**	**5.19**	**0.35**	**3.1**
BV8	**2.46**	**4**	**3**	**0.35**	**4.3**

A : surface du bassin versant (km²).

H : H_{max} - H_{min} (m)

L : longueur du cours d'eau principal (km).

i : pente moyenne du bassin versant (m/m).

VII.7 Calcul du débit d'apports :

- POUR LE BASSIN VERSANT **(BV1) :**

On a une surface de **A = 12.76 Km²**

5 <A< 25 Km² ⟹

$$T_c = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{S \times L}}{\sqrt[2]{P}}$$

$$T_c = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{12.76 \times 4.924}}{\sqrt[2]{0.034}}$$

$$T_c = 2.32\ h$$

- **Calcul d`intensité :**

Pour une période de retour de **10ans :**

a = 25.2
b = 0.6

$$I(t, T) = a(t) \times t_c^{-b}$$

$$I(t, 10) = 25.2 \times 2.32^{-0.6} = 15.21\ mm/h$$

$$I(t,50) = 33.6 \times 2.32^{-0.6} = 20.28\ mm/h$$

$$I(t,100) = 37.2 \times 2.32^{-0.6} = 22.45\ mm/h$$

Pour un coefficient de ruissellement **:**

Cr = C_1 +C_2 +C_3 = 0.03 + 0.15 + 0.04 = 0.22

$$Q_a(T) = 0.278 \times C \times I \times A$$

$$Q_a(10) = 0.278 \times 0.22 \times 15.21 \times 12.76 = 11.84\ m^3/s$$

$$Q_a(50) = 0.278 \times 0.22 \times 20.28 \times 12.76 = 15.79\ m^3/s$$

$$Q_a(100) = 0.278 \times 0.22 \times 22.45 \times 12.76 = 17.48\ m^3/s$$

VII.7.1 Résultats de calcul de débit de notre projet :

Le tableau suivant résume les résultats de calcul de débit des bassins versant qui franchissent notre autoroute pour des périodes de retour de 10,50,100ans :

Tableau VII.6: débit des bassins versants pour les périodes 10,50,100ans.

BV	A(Km²)	T_c	I (10)	I (50)	I (100)	Q_a (10)	Q_a (50)	Q_a (100)
BV1	12.76	2.32	15.21	20.28	22.45	11.84	15.79	17.48
BV2	156	7.27	7.66	10.22	11.31	99.66	133	147.15
BV3	1.16	0.59	34.6	46.11	51.1	3.91	5.2	5.77
BV4	3.23	1.9	17.15	22.86	25.31	5.39	7.2	7.95
BV5	5.32	1.33	21.24	28.32	31.35	11	14.66	16.23
BV6	4.67	1.55	19.4	25.83	28.6	8.82	11.74	13
BV7	5.1	1.82	17.59	23.46	25.97	8.73	11.64	12.89
BV8	2.46	0.96	25.82	34.43	38.12	6.2	8.24	9.12

VII.8 Étude hydraulique :

Le franchissement de cours d'eau par l'Autoroute nécessite l'implantation d'un certain nombre d'ouvrages hydrauliques capables d'évacuer les débits de crues aux différents exutoires.

Ainsi, pour un même débit de crue, l'ouverture et le type de structure pourront être très différents selon que le lit est marqué ou non, qu'il y a possibilité ou non de stockage des pointes de crue, que la plateforme de l'Autoroute est proche du terrain naturel ou en grand remblai.

VII.8.1 Dimensionnement des ouvrages hydrauliques :

L'écoulement est graduellement varié donc pour le dimensionnement de l'ouvrage selon SETRA Assainissement routier Il faut tenir compte de :

1) L'ouvrage doit pouvoir évacuer la crue correspondant au débit de projet avec une hauteur d'eau amont de l'ouvrage (Ham).
2) La vérification pour un débit exceptionnel doit être examinée.
3) Il est nécessaire de déterminer le régime d'écoulement.
4) Le calage de l'ouvrage ne doit pas engendrer un ressaut hydraulique
5) Le calcul est mené de l'aval vers l'amont.
6) La vitesse d'écoulement ne doit pas excéder 4m/s .

VII.8.1.1 Dimensionnement des dalots :

Encore appelés ponceau, ce sont de petits ponts qui servent à franchir un cours d'eau ou un fossé sur une voie. Ils sont en béton armé et présentent une section rectangulaire ou carrée. Les dalots sont des ouvrages sous chaussée qui ne nécessitent obligatoirement aucun remblai.

- **POUR BV1:**

On a un débit $Q_a = 15.79\ m^3/s$ $J = 0.01$

- **Régime de l`écoulement a l`aval de l`ouvrage hydraulique :**

Détermination de la hauteur d'eau normale h_n :

$$N = \frac{Q_a}{K \times P^{\frac{1}{2}} \times l^{\frac{8}{3}}}$$

$$N = \frac{15.79}{25 \times 0.01^{\frac{1}{2}} \times 3^{\frac{8}{3}}} = 0.34$$

Avec :

Q = Qa (50) = 15.79m3/s.

K = 25 (rugosité du lit du ruisseau).

p = 0,01 m/m (pente du ruisseau en aval du franchissement).

l = 3 m (largeur du fond de fossé).

m = cotg 45° = 1 (pente des parois).

En utilisant l'abaque1 page 70 (SETRA assainissement routier), on lit : **X = 1.7**

La hauteur normale s'élève à :

$h_n = \frac{l}{X} = \frac{3}{1.7} = 1.76m$

- **Détermination de la hauteur critique h_c :**

$$N = \frac{Qa^2}{g \times l^5}$$

$$N = \frac{15.79^2}{9.81 \times 3^5} = 0.104$$

g accélération de la pesanteur = **9,81m/s2**

En utilisant l'abaque2 page 71 (SETRA assainissement routier), on lit : **X = 2.4**

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$h_c = \frac{l}{X} = \frac{3}{2.4} = 1.25m$

Le régime d'écoulement dans le ruisseau se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale hn et critique h_c :

h_n = 1,76> h_c = 1.25 donc le régime d'écoulement est **fluvial**.

Remarque : L'écoulement dans le ruisseau étant en régime fluvial, il faudra obligatoirement caler l'ouvrage hydraulique en régime fluvial.

- **Choix de l'ouvrage hydraulique**

À partir de ces données, il faut vérifier si les conditions d'écoulement sont satisfaisantes (régime fluvial, vitesse, proportions entre la hauteur d'eau normale y_n et la hauteur d'eau critique y_c, hauteur d'eau amont H_{AM}).

Si l'ouvrage choisi ne donne pas satisfaction, il faut reprendre le processus de calcul avec des caractéristiques d'ouvrage différentes.

Remarque : l'ouvrage hydraulique choisi en première approche est un dalot béton.

On pose B=3.5m et K=70

- **Détermination de la hauteur critique yc :**

$$\mathbf{N} = \frac{Qa^2}{g \times l^5}$$

$$\mathbf{N} = \frac{15.79^2}{9.81 \times 3.5^5} = 0.048 \longrightarrow \mathbf{X} = 2.9$$

- La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$yc = \frac{l}{X} = \frac{3.5}{2.9} = 1.2\text{m}$$

$$y_n = 1.2 \times yc$$
$$y_n = 1.2 \times 1.2 = 1.44\text{m}$$

Le régime d'écoulement dans l'ouvrage se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale y_n et critique yc : $y_n = 1{,}44$ m > $yc = 1.2$ m

En conséquence l'ouvrage fonctionne en régime fluvial.

- **Calcule de pente :**

$$y_n = \frac{l}{X} = 1.44\text{m} \Longrightarrow X = \frac{l}{y_n} = \frac{3.5}{1.44} = 2.43$$

En utilisant l'abaque2 page 71 (SETRA assainissement routier), on lit : N = 0.068

Comme :

$$N = \frac{Qa}{K \times P^{\frac{1}{2}} \times l^{\frac{8}{3}}}$$

On peut obtenir la valeur de la pente :

$$P = \left(\frac{Qa}{K \times N \times l^{\frac{8}{3}}}\right)^2 = \left(\frac{15.79}{70 \times 0.068 \times 3.5^{\frac{8}{3}}}\right)^2 = 0.0138 \text{m/m}$$

- **La hauteur de la ligne d'eau :**

ye = max (y_n, h_n), ye =1,76 m

La largeur du dalot : l = 3.5 m, on peut donc calculer la section mouillée (S_m) dans l'ouvrage :

$$S_m = ye \times l = 1{,}76 \times 3.5 = 56.16 \text{ m}^2$$

On obtient la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage :

$$V = \frac{Q}{Sm} = \frac{15.79}{6.16} = 2.56\text{m/s} < 4\text{m/s} \quad \text{verifie}$$

- **Calcul de la hauteur d'eau amont (H_{AM}) :**

Il faut s'assurer que la hauteur d'eau amont **(H_{AM})** est acceptable vis-à-vis des contraintes du projet.

$$H_{AM} = ye + (1+K_e) \times \frac{V^2}{2g} = 1.76 + (1+0.5) \times \frac{2.56^2}{2 \times 9.81} = 2.25\text{m}$$

Ke : Le coefficient de perte de charge à l'entonnement est pris égal à 0,5 (utilisation d'une tête d'ouvrage classique avec murs en aile).

- **Calcule de y_t :**

$$y_t = \frac{ye + H\ AM}{2} = \frac{1.76+2.25}{2} = 2m$$

Le taux de remplissage : $\frac{yt}{H} < 0.75 \Rightarrow H \geq \frac{2}{0.75} = 2.66m$

La hauteur d'ouvrage : H=2.8m

- **Vérification dans le cas Qexp = 1.5Qa**

Détermination de la hauteur d'eau normale h_n *:*

$$N = \frac{Q_a}{K \times P^{\frac{1}{2}} \times l^{\frac{8}{3}}}$$

$$N = \frac{23.68}{25 \times 0.01^{\frac{1}{2}} \times 3^{\frac{8}{3}}} = 0.506$$

Avec :

Q = Qexp (50) = 23.68 m3/s.

K = 25 (rugosité du lit du ruisseau).

p = 0,01 m/m (pente du ruisseau en aval du franchissement).

l = 3 m (largeur du fond de fossé).

m = cotg 45° = 1 (pente des parois).

En utilisant l'abaque, on lit : **X = 1.65**

La hauteur normale s'élève à :

$$h_n = \frac{l}{X} = \frac{3}{1.65} = 1.81m$$

- **Détermination de la hauteur critique h_c :**

$$N = \frac{Qa^2}{g \times l^5}$$

$$N = \frac{23.68^2}{9.81 \times 3^5} = 0.23$$

On lit : **X = 1.9**

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$\mathbf{h_c = \frac{l}{X} = \frac{3}{1.9} = 1.58m}$$

Le régime d'écoulement dans le ruisseau se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale hn et critique h_c :

h_n = 1,81 > h_c = 1.58 donc le régime d'écoulement est **fluvial**.

L'écoulement dans le ruisseau étant en régime fluvial, il faudra obligatoirement caler l'ouvrage hydraulique en régime fluvial.

- **Détermination de la hauteur critique yc :**

On pose B= 3.5m

$$\mathbf{N = \frac{Qa^2}{g \times l^5}}$$

$$\mathbf{N = \frac{23.68^2}{9.81 \times 3.5^5} = 0.109 \text{ et } X = 1.95}$$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$\mathbf{yc = \frac{l}{X} = \frac{3.5}{1.95} = 1.54m}$$

$$\mathbf{y_n = 1.2 \times yc}$$

$$\mathbf{y_n = 1.2 \times 1.54 = 1.85m}$$

y_n = 1,85 m > yc = 1.54 m

L'ouvrage est calé en régime fluviale.

- **La pente de l'ouvrage :**

$$\mathbf{y_n = \frac{l}{X} = 1.85m \Longrightarrow X = \frac{l}{y_n} = \frac{3.5}{1.85} = 1.62}$$

Par utilisation de l'abaque, on lit : N = 0.22

Comme :

$$\mathbf{N = \frac{Qa}{K \times P^{\frac{1}{2}} \times l^{\frac{8}{3}}}}$$

On peut obtenir la valeur de la pente :

$$P = \left(\frac{Qa}{K \times N \times l^{\frac{8}{3}}}\right)^2 = \left(\frac{23.68}{70 \times 0.22 \times 3.5^{\frac{8}{3}}}\right)^2 = 0.003 \text{m/m}$$

- **La hauteur de la ligne d'eau :**

ye = max (y_n, h_n), ye =1,76 m

On peut donc calculer la section mouillée (S_m) dans l'ouvrage :

$$S_m = y_n \text{ x } l = 1{,}85 \text{ x } 3.5 = 6.47 \text{ m}^2$$

On obtient la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage :

$$V = \frac{Q}{Sm} = \frac{23.68}{6.47} = 3.66\text{m/s} < 4\text{m/s} \quad \text{verifie}$$

- **Calcul de la hauteur d'eau amont (H_{AM}) :**

Il faut s'assurer que la hauteur d'eau amont **(H_{AM})** est acceptable vis-à-vis des contraintes du projet.

$$H_{AM} = y_n + (1+K_e) \times \frac{V^2}{2g} = 1.85 + (1+0.5) \times \frac{3.66^2}{2 \times 9.81} = 2.87\text{m}$$

- **Calcule de y_t:**

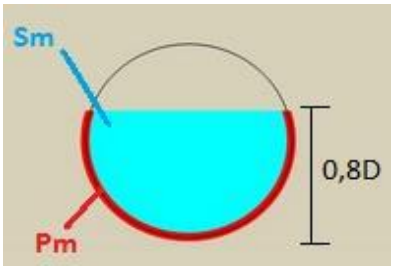
$$y_t = \frac{y_n + H_{AM}}{2} = \frac{1.85+2.87}{2} = 2.36\text{m}$$

Le taux de remplissage : $\frac{yt}{H} < 0.75$

La hauteur d'ouvrage $H \geq \frac{2.36}{0.75} = 3.13$ **m**

On prend H=3.5m

VII.8.1.2 Dimensionnement des buses :



Figures VII. 2 : caractéristique de buse**.**

Sm : Section mouillée en (m²). **Sm** = $\frac{4}{5}\pi R^2$

Pm : Périmètre mouillé en (m). **Pm** = $\frac{4}{3}\pi R$

$$Q_s = Kst \times Rh^{\frac{2}{3}} \times J^{\frac{1}{2}} \times Sm$$

$$Q_s = 80 \times \left(\frac{3}{5}R\right)^{\frac{2}{3}} \times J^{\frac{1}{2}} \times \frac{4}{5}\pi R^2$$

$$R = \left(\frac{Q_a}{80 \times \frac{4}{5}\pi \times \left(\frac{3}{5}\right)^{\frac{2}{3}} \times J^{\frac{1}{2}}}\right)^{\frac{3}{8}}$$

- **POUR BV3 :**

$Q_{a(10ans)}$ = 3.91 m^3/s

$$R = \left(\frac{Q_a}{80 \times \frac{4}{5}\pi \times \left(\frac{3}{5}\right)^{\frac{2}{3}} \times J^{\frac{1}{2}}}\right)^{\frac{3}{8}} = \left(\frac{3.91}{80 \times \frac{4}{5}\pi \times \left(\frac{3}{5}\right)^{\frac{2}{3}} \times 0.01^{\frac{1}{2}}}\right)^{\frac{3}{8}} = 0.52m$$

Donc on trouve **D = 1040 mm.**

Et une fois le diamètre est calculé, on adoptera un diamètre normalisé commercial tel **Φ400, Φ500, Φ800, Φ1000, Φ1200, Φ1500…ect.**

Pour que la buse vérifie les conditions on prend une buse de **Φ2200 mm.**

- **Vérification de régime de l`écoulement a l`aval de l`ouvrage hydraulique :**

Détermination de la hauteur d'eau normale h_n :

$$N = \frac{Qa}{K \times P^{\frac{1}{2}} \times R^{\frac{8}{3}}}$$

$$N = \frac{3.91}{25 \times 0.01^{\frac{1}{2}} \times 1.1^{\frac{8}{3}}} = 0.96$$

Avec :

Q = Qa (10) = 3.91m3/s.

K = 25 (rugosité du lit du ruisseau).

p = 0,01 m/m (pente du ruisseau en aval du franchissement).

R = 1.1 m (largeur du fond de fossé).

λ =1 (pente des parois).

En utilisant l'abaque 5 page 59 du guide SETRA (assainissement routier), on lit : $\tau_n = 0.45$

La hauteur normale s'élève à :

$h_n = \tau_n \times F = 0.45 \times 2.2 = 0.99m$

- **Détermination de la hauteur critique h_c :**

$$N = \frac{Qa}{\sqrt{g} \times R^{\frac{5}{2}}}$$

$$N = \frac{3.91}{\sqrt{10} \times 1.1^{\frac{5}{2}}} = 0.78$$

g: accélération de la pesanteur = **10m/s²**

En utilisant l'abaque 3 page 59 du guide SETRA (assainissement routier) on lit : $\tau_c = 0.35$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$h_c = \tau_c \times F = 0.35 \times 2.2 = 0.77m$

Le régime d'écoulement dans le ruisseau se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale hn et critique h_c :

$h_n = 0.99 > h_c = 0.77$ donc le régime d'écoulement est **fluvial**.

L'écoulement dans le ruisseau étant en régime fluvial, il faudra obligatoirement caler l'ouvrage hydraulique en régime fluvial.

- **Détermination de la hauteur critique yc :**

On a une buse de Φ2200.

$$N = \frac{Qa}{\sqrt{g} \times R^5}$$

$$N = \frac{3.91}{\sqrt{10} \times 1.1^{\frac{5}{2}}} = 0.97 \qquad \tau_c = 0.38$$

Donc :

$\tau_c = 0.38$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$yc = \tau_c \times F = 0.38 \times 2.2 = 0.83m$

$$y_n = 1.2 \times yc$$

$$y_n = 1.2 \times 0.83 = 0.996\text{m}$$

$y_n = 0.996$ m > $yc = 0.83$ m

En conséquence l'ouvrage fonctionne en régime fluvial.

- **Calcule de la pente de l'ouvrage :**

$yn = \tau_n \times F = 0.996 \Longrightarrow \tau n = \frac{yn}{F} = \frac{0.996}{2.2} = 0.45$

Par utilisation de l'abaque 5, on lit : N = 0.7

Comme :

$$N = \frac{Qa}{K \times P^{\frac{1}{2}} \times l^{\frac{8}{3}}}$$

- **On peut obtenir la valeur de la pente :**

$$P = \left(\frac{Qa}{K \times N \times R^{\frac{8}{3}}}\right)^2 = \left(\frac{3.91}{80 \times 0.7 \times 1.1^{\frac{8}{3}}}\right)^2 = 0.002\text{m/m}$$

- **Calcule de la surface mouillée de l'ouvrage :**

$$\tau n = \frac{yn}{F} = \frac{0.996}{2.2} = 0.45$$

$$\frac{S}{R^2} = 1.39 \longrightarrow S = 1.7 \times 1.1^2 = 2.06$$

On obtient la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage :

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{3.91}{2.06} = 1.9 m/s < 4 m/s \quad \text{verifie}$$

- **Calcul de la hauteur d'eau amont (H_{AM}) :**

Il faut s'assurer que la hauteur d'eau amont **(H_{AM})** est acceptable vis-à-vis des contraintes du projet.

$$H_{AM} = y_n + (1+K_e) \times \frac{V^2}{2g} = 0.996 + (1+0.5) \times \frac{1.9^2}{2\times 10} = 1.26 m$$

Ke : Le coefficient de perte de charge à l'entonnement est pris égal à 0,5 (utilisation d'une tête d'ouvrage classique avec murs en aile).

- **Vérification du tirant d'air (TA) :**

Le tirant est mesuré au-dessus de la hauteur d'eau et la génératrice supérieure de l'ouvrage. La hauteur d'eau est calculée en considérant cette hauteur égale à :

$$y_t = \frac{y_n + H_{AM}}{2} = \frac{0.996+1.26}{2} = 1.13 m$$

Le taux de remplissage : $\frac{yt}{F} = \frac{1.13}{2.2} = 0.51 < 0.75$ **VERIFIE**

- **Vérification dans le cas Qexp = 1.5Qa :**

Détermination de la hauteur d'eau normale h_n :

$$N = \frac{Qa}{K \times P^{\frac{1}{2}} \times R^{\frac{8}{3}}}$$

$$N = \frac{5.86}{25 \times 0.01^{\frac{1}{2}} \times 1^{\frac{8}{3}}} = 1.44$$

Avec :

Q = Qexp (10) = 3.91× 1. 5 = 5. 86 m3/s.

K = 25 (rugosité du lit du ruisseau).

p = 0,01 m/m (pente du ruisseau en aval du franchissement).

R = 1 m (largeur du fond de fossé).

λ =1 (pente des parois).

En utilisant l'abaque, on lit : $\tau_n = 0.64$

La hauteur normale s'élève à :

$h_n = \tau_n \times F = 0.64 \times 2.2 = 1.4m$

- **Détermination de la hauteur critique h_c :**

$$N = \frac{Qa}{\sqrt{g} \times R^{\frac{5}{2}}}$$

$$N = \frac{5.86}{\sqrt{9.81} \times 1.1^{\frac{5}{2}}} = 1.47 \Longrightarrow \tau_c = 0.5$$

g accélération de la pesanteur = **9.81m/s²**.

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$h_c = \tau_c \times F = 0.5 \times 2.2 = 1.1m$

Le régime d'écoulement dans le ruisseau se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale hn et critique h_c :

$h_n = 1,4 > h_c = 1.1$ donc le régime d'écoulement est **fluvial**.

L'écoulement dans le ruisseau étant en régime fluvial, il faudra obligatoirement caler l'ouvrage hydraulique en régime fluvial.

- **Détermination de la hauteur critique yc :**

On a une buse de Φ2200.

$$N = \frac{Qa}{\sqrt{g} \times R^5}$$

$$N = \frac{5.86}{\sqrt{10} \times 1.1^{\frac{5}{2}}} = 1.46 \longrightarrow \tau_c = 0.5$$

La hauteur d'eau critique s'élève à :

$$yc = \tau_c \times F = 0.5 \times 2.2 = 1.1m$$

$$y_n = 1.2 \times yc$$

$$y_n = 1.2 \times 1.1 = 1.32m$$

Le régime d'écoulement dans l'ouvrage se détermine par comparaison des hauteurs d'eau normale y_n et critique yc : $y_n = 1{,}32m > yc = 1.1$ m.

En conséquence l'ouvrage fonctionne en régime fluvial.

Calcule de pente :

$$yn = \tau_n \times F = 1.32 \Longrightarrow \tau n = \frac{yn}{F} = \frac{1.32}{2.2} = 0.6$$

Par utilisation de l'abaque, on lit : N = 1.38

Comme :

$$N = \frac{Qa}{K \times P^{\frac{1}{2}} \times l^{\frac{8}{3}}}$$

- **On peut obtenir la valeur de la pente :**

$$P = \left(\frac{Qa}{K \times N \times R^{\frac{8}{3}}}\right)^2 = \left(\frac{5.86}{80 \times 1.38 \times 1.1^{\frac{8}{3}}}\right)^2 = 0.001 m/m$$

- **La surface mouillée de l'ouvrage :**

$$\tau n = \frac{yn}{F} = \frac{1.32}{2.2} = 0.6$$

$$\frac{S}{R^2} = 2 \qquad S = 2 \times 1.1^2 = 2.42$$

On obtient la vitesse d'écoulement dans l'ouvrage :

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{5.86}{2.42} = 2.42 m/s < 4m/s \quad \text{verifie}$$

- **Calcul de la hauteur d'eau amont (H_{AM}) :**

Il faut s'assurer que la hauteur d'eau amont **(H_{AM})** est acceptable vis-à-vis des contraintes du projet.

$$H_{AM} = ye + (1+K_e) \times \frac{V^2}{2g} = 1.4 + (1+0.5) \times \frac{2.42^2}{2 \times 10} = 1.83m$$

- **Vérification du tirant d'air (TA) :**

$$y_t = \frac{ye + H_{AM}}{2} = \frac{1.4+1.83}{2} = 1.61m$$

Le taux de remplissage : $\frac{yt}{F} = \frac{1.61}{2.2} = 0.73 < 0.75$ **VERIFIE**

Remarque : puisque les buses de diamètre D=2200mm sont indispensables en marché alors on remplace la buse **Φ 2200 par 2 buses de Φ 1500.**

VII.8.1.3 Résultats récapitulatifs de dimensionnement des dalots et des buses :

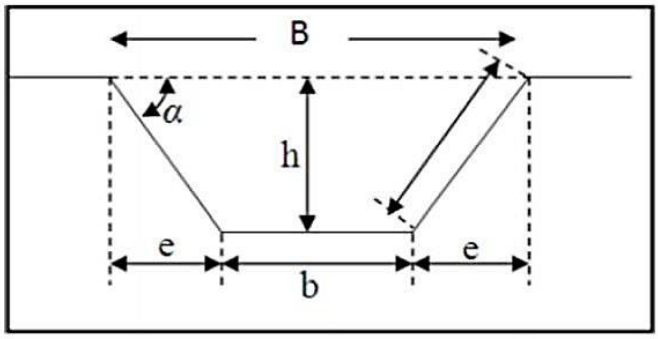
Tableau VII. 7: tableau récapitulatif des dimensions des dalots et buse.

BV	TYPE D`OUVRAGE	PENTE D`OUVREGE	V(m/s) <4	b (m)	h (m)	D(mm)
BV1	**DALOT**	**0.003**	**3.65**	**3.5**	**3.2**	**-**
BV2	**PONT**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
BV3	**BUSE**	**0.001**	**2.42**	**-**	**-**	**2×Φ 1500**
BV4	**DALOT**	**0.005**	**2.8**	**2.5**	**2.5**	**-**
BV5	**DALOT**	**0.005**	**3.27**	**3.5**	**3**	**-**
BV6	**DALOT**	**0.003**	**3.17**	**3**	**3**	**-**
BV7	**DALOT**	**0.003**	**3.09**	**3**	**3**	**-**
BV8	**DALOT**	**0.004**	**3.03**	**3**	**2.5**	**-**

VII.8.1.4 Dimensionnement des Ouvrages de drainage Longitudinal :

La démarche consiste à choisir un ouvrage a priori jusqu'à une certaine longueur et de calculer si ses caractéristiques sont soit suffisantes ou insuffisantes ou trop importantes pour évacuer le débit d'apport.

Remblai L = 320m p= 100% h=3.5m



Figures VII.3 : Caractéristiques d'un fossé.

- **Estimation des débits d'apport :**

$$Q_a = Q_{chaussée} + Q_{BAU} + Q_{berme} + Q_{talus}$$

Avec :

- $Q_{chaussée} = 0.278 \times C_{chaussée} \times I \times A_{chaussée}$
- $Q_{BAU} = 0.278 \times C_{BAU} \times I \times A_{BAU}$
- $Q_{berme} = 0.278 \times C_{berme} \times I \times A_{berme}$
- $Q_{talus} = 0.278 \times C_{talu} \times I \times A_{talu}$

- **Coefficient de ruissellement (C) :**

Tableau VI.1: Coefficient de ruissellement (C).

SBV	Valeur de C
Chaussée revêtement en enrobes	0.8 à 0.95
Accotement	0.10 à 0.40
Talus	0.10 à 0.30
Terrain naturel	0.10 à 0.20

- **Calcul de débit :**
-
- **La chaussée + BDG : P = 2.5%, C=0.9**

Achaussée + BDG = $11 \times 320 = 3520$ m²= 3.52×10^{-3} Km²

Tc= $0.27 \times \sqrt{\frac{S}{P}} = 0.27 \times \sqrt{\frac{0.00352}{0.025}} = 0.1\ h$

i (10) = $a(t) \times tc^{-b} = 25.2 \times 0.1^{-0.6} = 100.32\ mm/h$
Q_a(T)= $0.278 \times C \times I \times A = 0.278 \times 0.9 \times 100.32 \times 0.00352 = 0.09$ m³/s

- **La bande d`arrêt d`urgence : P = 4%, C=0.9**

ABDG = $3 \times 320 = 960$ m²= 0.96×10^{-3} Km²

Tc= $0.27 \times \sqrt{\frac{S}{P}} = 0.27 \times \sqrt{\frac{0.00096}{0.04}} = 0.042\ h$

i (10) = $a(t) \times tc^{-b} = 25.2 \times 0.042^{-0.6} = 168.83\ mm/h$

Q_a(T)= $0.278 \times C \times I \times A = 0.278 \times 0.9 \times 168.83 \times 0.00096 = 0.041$ m³/s

- **La berme : P = 8%, C=0.4**

ABDG = $1 \times 320 = 320$ m²= 0.32×10^{-3} Km²

Tc= $0.27 \times \sqrt{\frac{S}{P}} = 0.27 \times \sqrt{\frac{0.00032}{0.08}} = 0.017\ h$

i (10) = $a(t) \times tc^{-b} = 25.2 \times 0.017^{-0.6} = 290.49\ mm/h$

$Q_a(T)= 0.278 \times C \times I \times A = 0.278 \times 0.4 \times 290.49 \times 0.00032 = 0.01\ m^3/s$

- **Le talus : P = 100%, C=0.3**

$ABDG = 3.5 \times 320 = 1120\ m^2 = 1.12 \times 10^{-3}\ Km^2$

$Tc= 0.27 \times \sqrt{\frac{S}{P}} = 0.27 \times \sqrt{\frac{0.00112}{1}} = 0.009\ h$

$i\ (10) = a(t) \times tc^{-b} = 25.2 \times 0.009^{-0.6} = 425.46\ mm/h$

$Q_a(T)= 0.278 \times C \times I \times A = 0.278 \times 0.3 \times 425.46 \times 0.00112 = 0.04\ m^3/s$

$$Q_a = Q_{chaussée} + QBAU + Qberme + Qtalus$$

$$Q_a = 0.09 + 0.041 + 0.01 + 0.04$$

$$Q_a = 0.181\ m^3/s$$

Calcul de débit de saturation :

$$Qs = Kst \times Rh^{\frac{2}{3}} \times J^{\frac{1}{2}} \times Sm$$

Avec :

Qs : Débit capable en (m3/s).

Rh : Rayon hydraulique en (m). Avec : $Rh = \frac{Sm}{Pm}$

Sm : Section mouillée en (m²). $Sm = h \times (b+h)$

Pm : Périmètre mouillé en (m). $Pm = b + 2h \times (2)^{0.5}$

J : Pente longitudinal du fosse = 0.63%.

Kst : Coefficient de rugosité de Manning. **(**Au béton coule sur place **Kst = 70)**

On prend : b= 0.5m, h= 0.5m

$$Qs = Kst \times Rh^{\frac{2}{3}} \times J^{\frac{1}{2}} \times Sm$$

$$Qs = 70 \times \left(\frac{h \times (b+h)}{b + 2h \times (2)0.5}\right)^{\frac{2}{3}} \times 0.0063^{\frac{1}{2}} \times (h \times (b + h))$$

$$Qs = 70 \times \left(\frac{0.5 \times (0.5+0.5)}{0.5 + 2(0.5) \times (2)0.5}\right)^{\frac{2}{3}} \times 0.0063^{\frac{1}{2}} \times (0.5 \times (0.5 + 0.5))$$

Qs=1.13 m^3/s

Avec h =0.5m, on trouve **Qs > Qa**, Donc le débit d'apport est nettement inférieur à celui de saturation, ce qui signifie que les dimensions du fossé proposées sont largement suffisantes pour faire passer les apports du bassin versant.

VII.9 Conclusion :

Pour conclure, les ouvrages hydrauliques peuvent être utilisés pour créer des passages souterrains pour les cours d'eau sous les routes et assurer le drainage adéquat des eaux de pluie afin maintenir la sécurité routière en réduisant les risques de dégradation de la chaussée.

VIII.1 Cubatures :

Les cubatures de terrassement, c 'est l'évolution des cubes de déblais que comporte le projet afin d'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne projet :

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

- Les profils en long
- Les profils en travers
- Les distances entre les profils.

On entend par cubature le calcul des volumes déblais remblais à déplacer pour respecter les profils en long et travers fixés auparavant et d'établir ainsi le mètre des travaux.

Comme notre est réutilisable, on cherche un équilibre entre les volumes déblais remblais. Le calcul exact est pratiquement impossible vu l'irrégularité des surfaces.

VIII.2 Le calcul de cubatures :

Consiste à définir les volumes de déblais et de remblais nécessaires aux travaux de terrassement d'un projet. Il peut être réalisé en comparant un plan topographique à un plan de terrassement ou bien un profil en long du terrain existant à un profil de projet.

VIII.3 Méthode utilisée pour calcul cubatures des terrassements :

Pour calculer un volume, il y a plusieurs méthodes parmi lesquelles il y a celle de la moyenne des aires que nous utilisons et qui est une méthode très simple mais elle présente un inconvénient c'est de donner des résultats avec une marge d'erreur, donc pour être proche des résultats exacts on doit majorer les résultats trouvés par le coefficient de **10 %** et ceci dans le but d'être en sécurité

VIII.3.1 Description De La Méthode CALCUL CUBATURES DES TERRASSEMENTS :

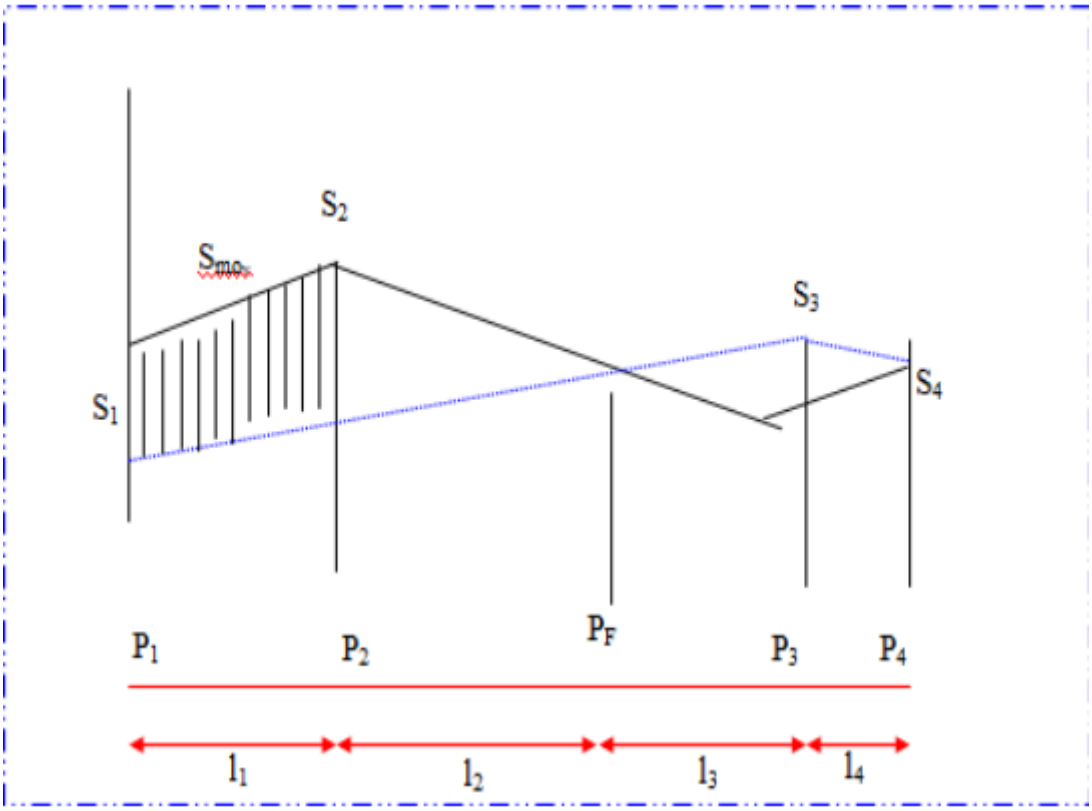
En utilisant la formule qui calcul le volume compris entre deux profils successifs

$$\mathbf{V}=\frac{\boldsymbol{h}}{\mathbf{6}}\times(\boldsymbol{S_1}+\boldsymbol{S_2}+4\boldsymbol{S_0})$$

Où h, S_1, S2 et S_0 désignant respectivement :

- Hauteur entre deux profils.
- Hauteur des deux profils.
- Surface limitée à mi-distances des profils

Ici à la figure ci-dessus on adopte pour des profils en long d'un tracé donnés :



Figures VIII.1 : profil en long d'un axe.

Figure :

Le volume compris entre les deux profils en travers P_1 et P_2 de section S_1 et S_2 sera égale à :

$$V=\frac{l_1}{6}\times(S_1+S_2+4S_{moy})$$

Pour éviter un calcul très long, on simplifie cette formule en considérant comme très voisines les deux expressions S_{moy} est :

$$S_{moy}=\frac{(S_1+S_2)}{2}$$

Ceci donne :

$$V=\frac{l_1}{2}\times(S_1+S_2)$$

Donc les volumes seront :
* Entre P_1 et P_2

$$V_1=\frac{l_1}{2}\times(S_1+S_2)$$

* Entre P_2 et P_F

$$V_2=\frac{l_2}{2}\times(S_2+0)$$

* Entre P_F et P_3

$$V_3=\frac{l_3}{2}\times(0+S_3)$$

* Entre P_3 et P_4

$$V_4=\frac{l_4}{2}\times(S_3+S_4)$$

En additionnant membres à membre ces expressions on a le volume total des terrassements :

$$V=\frac{l_1}{2}S_1+\frac{l_1+l_2}{2}S_2+\frac{l_2+l_3}{2}\times 0+\frac{l_3+l_4}{2}\times S_3+\frac{l_4}{2}\times S_4$$

On voit l'utilité de placer les profils P_F puisqu'ils neutralisent en quelque sorte une certaine longueur du profil en long, en y produisant un volume nul.

VIII.3.2 MÉTHODE CLASSIQUE POUR CALCUL CUBATURES DES TERRASSEMENTS :

Dans cette méthode on distingue deux différents sous méthodes de calcul dont la première est celle dite de GULDEN où les quantités des profils sont multipliées par la longueur d'application au droit de leur centre de gravité, prenant en compte la courbure au droit de profil.

Mais dans l'autre méthode classique les quantités des profils sont multipliées par la longueur d'application à l'axe (indépendant de la courbure).

Pour notre calcul automatique des courbures par le logiciel CIVIL 3D (2024) et les résultats obtenus sont en **annexe VIII** mais ici (ci – dessous) nous donnons le résultat final du volume de remblais et déblais.

Volume de remblais =153669.52 m^3
Volume de déblais=551785.12 m^3

Volume total au niveau de l'abscisse curviligne 10000.000	
Zone de déblai	144.94
Zone de remblai	0.00
Vol déblai	3475
Vol remblai	0
Vol déblai cumulé	551785
Vol remblai cumulé	153670
Vol net	398115.59

Figures VIII.2: résultats de calcul des cubatures

IX.1 Introduction :

Lorsqu'un sol est soumis à des charges extérieures, il se développe en dedans duquel des contraintes qui provoquent des déformations en particulier verticales, appelée "tassement" du sol. Ces tassements ne doivent pas être excessifs et ne pas dépasser les limites acceptables.

Les sols sont tous compressibles : c'est-à-dire qu'ils tassent lorsqu'ils sont soumis à une charge. Les constructions sur sols compressibles causent des dommages importants :

- Stabilité
- Déformation
- Et surtout Tassement à court et à long terme.

D'après les résultats de la géotechnique le sol est compressible, un calcule de tassement est nécessaire pour les zones en remblais.

IX.2 Évolution du tassement dans le sol :

L'évolution du tassement dans le sol dépend de l'arrangement et la dimension des particules. En raison de la grande perméabilité des sols à gros grains, le tassement survient très vite, ce 2 sont des tassements immédiats. Cependant les sols à gains fins (argiles) qui sont peu perméables, l'eau se trouvant dans les vides est expulsée très lentement. Dans ce cas, la compression et la diminution de volume vont évoluer au cours de temps, c'est ce qu'on appelle un tassement de consolidation.

Le tassement total St d'un sol chargé a trois composantes :

$$St = Si + Sc + Ss$$

Avec

Si : tassement immédiat

Sc : tassement de consolidation primaire

Ss : tassement de consolidation secondaire

IX.3 Présentation de la méthode de calcul :

Ce chapitre présente la méthodologie de calcul adoptée pour l'estimation des tassements sous les remblais.

IX.3.1 Méthode de BOUSSINESQ :

Modèle élastique Cette théorie est utilisée de deux manières :

- Soit pour obtenir directement le tassement (par exemple, le tassement immédiat cas du sol non drainé).

- Soit pour obtenir la distribution du décroissement de la contrainte verticale $\Delta\sigma z$ en fonction de la profondeur dont on a besoin.

IX.3.1.1 Tassement immédiat :

L'évaluation de tassement immédiat est généralement basée sur la théorie d'élasticité à l'aide de la méthode de BOUSSINESQ, le tassement peut être exprimé comme suit :

$$S_i = q \times B \times \frac{(1-\nu^2)}{E} \times I$$

S_i : tassement

Q : la charge

B : la largeur du remblai

E et ν Module d'Young et coefficient de Poisson du massif de sol.

I : coefficient d'influence.

IX.3.1.2 Distribution de la contrainte verticale Δσz avec la profondeur selon (BOUSSINESQ) :

Il s'agit de connaître la distribution, avec la profondeur, de l'accroissement de contrainte verticale Δσz, par rapport à l'état de contrainte initial régnant dans le sol, apporté par une contrainte q appliquée en surface.

$$\Delta\sigma z = 2 \times q \times I$$

En utilisant l'abaque d'Österberg on détermine coefficient d'influence.

IX.3.2 Tassement de consolidation primaire :

La consolidation primaire d'un sol fin saturé correspond au tassement au fur et à mesure de la dissipation de l'eau interstitielle. L'évaluation du tassement de consolidation est généralement basée sur un essai de laboratoire, l'essai de consolidation œdométrique.

IX.3.2.1 Essai œdométrique :

L'essai œdométrique est effectué sur des échantillons intacts de sol fins saturés. Il consiste à soumettre à une éprouvette de sol emprisonnée dans une cellule œdométrique une série de 3 paliers de chargement et de déchargement d'intensité constante et à mesurer, pour chacun d'eux, la variation de hauteur ΔH de cette éprouvette au cours du temps.

IX.3.2.2 Paramètres et coefficients obtenus à partir de l'essai œdométrique :

- Contrainte de consolidation : $\boldsymbol{\sigma'_p}$.
- Coefficient de compression : **Cc** (Indique la compressibilité du sol).
- Indice de gonflement ou de recompressions : **Cg** (Indique le gonflement du sol).
- Module œdométrique (kPa) : Eoed.
- Facteur temps : Tv.
- Temps de tassement (s) $T = \frac{T_V \times h^2}{Cv}$.

IX.3.2.3 État de consolidation d'un sol :

- **Sol normalement consolidé :**

Lorsque $\sigma'_0 = \sigma'_p$, le sol est dit normalement consolidé. Le sol n'a jamais été soumis à une contrainte supérieure à la contrainte géostatique. Le sol a seulement été consolidé par le poids des couches supérieures actuellement présentes.

- **Sol sur consolidé :**

Lorsque $\sigma'_0 \leq \sigma'_p$ le sol a été soumis dans le passé à une pression de pré consolidation plus importante que le poids des couches supérieures maintenant présentes sur le terrain

- **Sol en cours de consolidation**

Lorsque $\sigma'_0 \leq \sigma'_p$ le sol est en cours de consolidation sous l'effet de son poids propre (remblais récents, mal ou non compactés,). Ce sont des sols généralement inconstructibles.

IX.4 Résultats des essais œdométriques :

Tableau IX. 1 : tableau récapitulatif des résultats des essais œdométriques

N°des sondages	Profondeur (m)	e_0	$C_C(\%)$	σ'_0 (MPA)	$C_g(\%)$	σ'_p (MPA)	C_v (m^2/s)
SC6-R+SPT	10,5	1,34	48,83	0,13	6,31	0,132	2,10E-7
SC7-R+SPT	10	0,57	24,98	0,136	5,77	0,349	4,95E-8
SC8-R+SPT	10	0,84	26,24	0,147	5,69	0,314	2,74E-7
SC9-R+SPT	10	0,65	15,96	0,172	3,32	0,292	1,47E-7

IX.5 Présentation d'un exemple de calcul : Remblai du PK39+185 au PK39+470 :

L'estimation des tassements immédiats est faite à l'aide de la méthode de BOUSSINESQ moyennant les résultats des sondages pressiométriques, alors que les tassements primaires sont estimés à partir des résultats de l'essai œdométrique.

IX.5.1 Calcul par la méthode de BOUSSINESQ, modèle élastique :

Tableau IX. 2 : Récapitulatif des calculs par la solution en élasticité du tassement du remblai.

Épaisseur du remblai (m)	Charge q (MPa)	I	B(m)	E(MPa)	v	S_i(Cm)
3.5	**0.07**	**0.5**	**24**	**2**	**0.5**	**31**

IX.5.2 Calcul du tassement primaire par la méthode œdométrique :

Le remblai est d'une hauteur H=3,5m

Δσz=2×q×I=2×0.07×0.5=**0.07MPa**

σ'_0=**0,172**≤ σ'_p=**0,292** ⟹ le sol est sur consolidé.

Et $\sigma'_0+\Delta\sigma \leq \sigma'_p$ le tassement se calcule par la formule :

$$\Delta h=\frac{hC_S}{1+e_0}\times\log\times\frac{\sigma'_0+\Delta\sigma}{\sigma'_0}$$

$$\Delta h=\frac{10\times0.0332}{1+0,65}\times\log\times\frac{0,172+0,07}{0.172}=\mathbf{0,03m}$$

Tableau : Résultats du calcul sur la base des données du sondage

Tableau IX. 3 : Résultats du calcul sur la base des données du sondage

	Épaisseur (m)	σ'v0 (MPa)	Q (MPa)	e0	σ'p (MPa)	I	Δσz (MPa)	Cs	St (cm)
SC9-R+SPT	**10**	**0,172**	**0.07**	**0.65**	**0,292**	**0.5**	**0.07**	**0.0332**	**34**

IX.5.3 Estimation du temps de consolidation :

La résolution de l'équation de la consolidation unidimensionnelle de Terzaghi a permis de définir la formule suivante :

$$\mathbf{T}=\frac{T_V\times h^2}{Cv}$$

T : temps de consolidation (en secondes).

Tv : facteur temps de consolidation.

h :épaisseur de la couche compressible dans notre cas(en m).

Cv : coefficient de consolidation (en m2/s)

Le tableau suivant présente les résultats de l'estimation du temps de consolidation du sol dans la zone du remblai pour deux degrés de consolidations.

Tableau IX. 4 : estimation du temps de consolidation.

	Épaisseur (m)	Cv (m2 /s)	Tv	T (s)	Temps en années
U 50%	10	1,47E-7	0.197	140714285	4
U 90%	10	1,47E-7	0.848	576870748	18

IX.6 Conclusion :

Le tassement est très faible, La surcharge du remblai permet de consolider la tranche Compressible du sol supportant le remblai dans les délais accordés pour le projet. Aucun traitement pour accélérer la consolidation de ce sol.

X.1 INTRODUCTION :

Cette partie de notre étude porte sur la conception d'un échangeur permettant la liaison de la RN67 a la 3eme rocade d'Alger.il importe de rappeler à l'occasion quelques définitions avant de présenter les caractéristiques de l'échangeur choisi.

X.1.1 Définition d'un échangeur :

Un échangeur autoroutier est un système de bretelles routières permettant de basculer, soit d'un type de réseau routier à un autre (d'une route ordinaire ou une voie rapide à une autoroute), soit de passer d'une autoroute à une autre. Les échangeurs se trouvent donc aux intersections entre réseaux routiers de types différents et permettent ainsi d'éviter tout croisement à niveau pour limiter le ralentissement des voies concernées.

X.1.2 La fonction de l'échangeur :

Les échangeurs relient différents types de routes entre elles :

- D'une route à une autoroute (on parle ici de diffuseur plutôt que d'échangeur) ;
- D'une autoroute à une autre.

Cet aménagement routier présente l'avantage de permettre aux usagers de changer d'itinéraire en toute simplicité, en évitant les croisements dangereux avec les autres conducteurs. En effet, les échangeurs sont plus sécurisés que les intersections classiques (comme les ronds-points et les feux de signalisation par exemple).

X.1.3 Les différents types d'échangeurs d'autoroute

Les échangeurs d'autoroute sont des infrastructures imposantes qui possèdent un pont avec une ou plusieurs bretelles. Certains d'entre eux possèdent deux, trois, voire quatre voies. Il existe ainsi trois types d'échangeurs :

- **L'échangeur d'autoroute en trompette**

Est un échangeur à trois voies. Il permet de faire la jonction entre une autoroute qui se termine et une nouvelle. Les usagers peuvent également emprunter les voies de sortie pour quitter l'autoroute afin de rejoindre un nouvel itinéraire ;

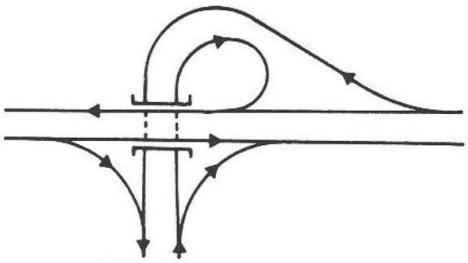


Figure X.1:échangeur d'autoroute en trompette.

- **L'échangeur d'autoroute en trèfle** est un échangeur à quatre voies. Il est en forme de boucle si bien qu'il permet aux automobilistes de changer de sens ou d'autoroute. En Algérie, les échangeurs en trèfle sont rares. En effet, à cause de leurs virages serrés, ils représentent un réel danger de sortie de route. Les derniers échangeurs de cette catégorie sont situés en Lorraine ;

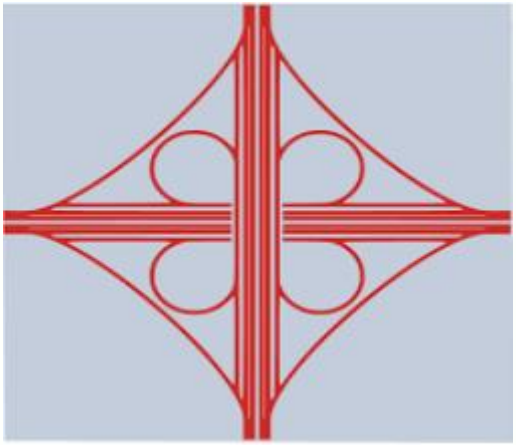


Figure X.2*:* échangeur d'autoroute en trèfle.

- **L'échangeur d'autoroute en turbine** est un échangeur à quatre voies. Il s'agit du type d'échangeur le plus présent en France. Il reprend les mêmes caractéristiques que l'échangeur en trèfle. Le rayon des boucles est toutefois plus large afin de garantir une sécurité plus importante aux conducteurs.



Figure X.3: échangeur d'autoroute en turbine.

. L'échangeur en losange :

Avec un schéma d'aménagement plus simple (bretelles directs), cette configuration à quatre (4) branches assure une distribution symétrique de trafic d'échange, en plus les distances de parcours pour l'ensemble du schéma sont minimales.

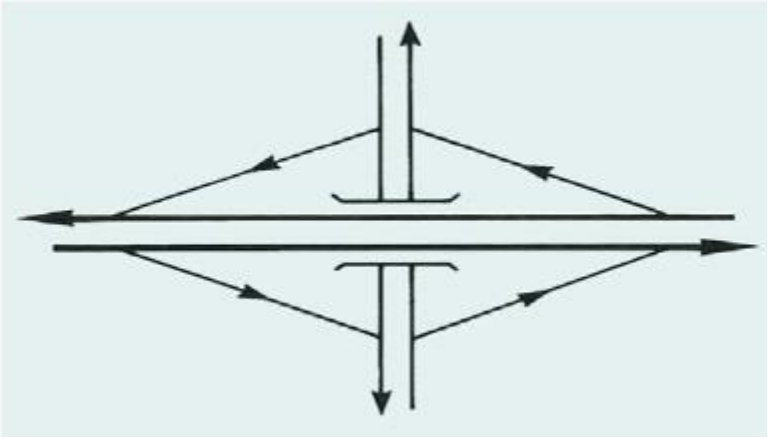


Figure X.4: L'échangeur en losange.

X.1.4 Conception d'un échangeur :

Le principal objectif d'un échangeur est de servir aux intérêts des usagers. Donc lors de sa conception, on tient compte des paramètres tels que :

• La sécurité
• La classification des routes qui se croisent ;
• L'utilisation du sol ;
• La vitesse de base ;
• Le débit et la composition du trafic ;
• Le nombre de branches et d'échangeur ;

• Les dispositifs de régulation de la circulation ;
• Le relief ;
• Les besoins d'emprise et de terrain ;
• La desserte des quartiers riverains ;
• Les aspects reliés aux réseaux et la cohérence de l'aménagement ;
•l'environnement
•les aspects économiques

X.1.5 Choix du type d'échangeur :

- Pour choisir l'échangeur qui convient le mieux, il faut tenir compte en premier lieu de la classification des routes qui se croisent.

Notre échangeur va relier la RN67 en (2×2voies) avec la 3éme rocade d'Alger en (2×3voies) au point kilométrique

- La RN67 est reliée avec le chemin de wilaya (CW112) qui conduit vers SIDI ABDELLAH et des routes nationales (RN69 et RN11) qui conduit vers la ville de KOLEA et la ville de Tipaza.
- Et vue l'importance du trafic prévu pour l'autoroute, nous devons choisir un échangeur capable de le fluidifié. Nous avons ainsi opté pour l'échangeur de type trempette pour les raisons suivantes :
    1. La non-disponibilité de l'espace (ce sont des trains agricoles).
    2. Offrir une bonne sécurité et une bonne visibilité aux usagers.
    3. Le gain de temps (car cet échangeur favorise toutes les directions). Et enfin son côté esthétique.

Les liaisons rétablies partent les mouvements directs, sont assurées de la manière suivante :

- La liaison Ouest-nord (Tipaza vers TASSALA EL Merdja) est assurée au moyen de la bretelle 1 ;
- La liaison Nord – Est (TASSALA EL Merdja vers Blida) est assurée par la boucle 2 ;
- La liaison nord-ouest (TASSALA EL Merdja vers Tipaza) est assurée par la bretelle 3 ;
- La liaison est-nord (blida vers TASSALA EL Merdja) est assurée par la bretelle 4 ;

✓ **Vitesse de référence** :

Une vitesse de référence élevée dans les bretelles augmente la fluidité de la circulation dans l'échangeur, mais augmente aussi les coûts de construction et nécessite une superficie supérieure pour implanter l'échangeur (rayons plus grands). Cependant, les utilisateurs de

l'autoroute qui circulent à vitesse élevée peuvent trouver inconfortable une décélération prononcée jusqu'à une vitesse de référence très basse dans les bretelles.

X.2 Étude de trafic :

- La liaison Ouest-nord (Tipaza vers TASSALA EL Merdja) est assurée au moyen de la bretelle 1, avec un débit par heure de pointe année 2047 ⟹ Q=379 uvp/h.
- La liaison Nord – Est (TASSALA EL Merdja vers Blida) est assurée par la boucle 2.
  avec un débits par heure de pointe année 2047 ⟹ Q=339 u.v.p/h.
- La liaison nord-ouest (TASSALA EL Merdja vers Tipaza) est assurée par la bretelle 3.
  avec un débits par heure de pointe année 2047 ⟹ Q=195 u.v.p/h.
- La liaison est-nord (blida vers TASSALA EL Merdja) est assurée par la bretelle 4.
  avec un débits par heure de pointe année 2047 ⟹ Q=1183 u.v.p/h.

Remarque : selon le SETRA Q(u.v.p\h) <1200uvp\h les brettèles et boucles sont des chaussées a une (1) voie.

X.3 Géométrie en plan :

X.3.1 Valeurs limites des rayons :

Par convention, un rayon en plan est mesuré par rapport au bord intérieur de la chaussée. Le rayon minimal est de 40 m. Mais, à l'exception des boucles, le rayon de la première courbe rencontrée en sortie doit être au moins de 100 m. En boucle, il n'est pas conseillé de recourir à des rayons excédant 60 m. Le rayon minimal non déversé (Rnd) est de 300 m.
Les normes géométriques du tracé en plan selon l'ICTAAL sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau X.1:les valeurs minimales du profil en long.

Elément de conception	Critère
Rayon minimal (Rm)	40m
Rayon maximale dans la partie circulaire des boucles	60m

- D'après le SETRA les rayons minimaux utilisables pour le tracé en plan des bretelles et des branches circulables à 70KM/h est de 135 m sur une branche/bretelle.
- Pour notre projet on prend le rayon des bretelle R=180m avec une vitesse V=70km/h
- Pour la boucle R=60m, afin d'éviter les mises en vitesse.
- le rayon de la première courbe rencontrée en sortie R=180m

X.3.2 Enchaînement des éléments du tracé en plan :

Une boucle comporte un arc circulaire unique encadré par des arcs de clothoïdes. Deux courbes successives de sens contraire doivent satisfaire à la condition : $R1 \leq 2R2$, où R1 et R2 notent les rayons de la première et de la seconde courbe rencontrées.

X.3.3 Raccordement progressif :

Une courbe circulaire est encadrée par deux arcs de clothoïde de longueur égale à la plus grande des deux valeurs : $6 \times R^{0.4}$ et $7\times |\Delta\delta|$; où R note le rayon de courbure (en m), et $\Delta\delta$ la différence des pentes transversales (en %) des éléments du tracé raccordés. Il s'agit de longueurs minimales, mais il n'est pas recommandé de recourir à des valeurs supérieures qui peuvent rendre l'appréciation de la courbure finale plus difficile pour l'usager.

Les courbes de rayon inférieur à Rnd sont déversées vers l'intérieur de la courbe. La pente transversale d'une chaussée est de 2,5 % vers l'extérieur.

La pente transversale d'une chaussée déversée varie linéairement en fonction de 1/R, entre 2,5 % pour le rayon Rnd (300m) et 7 % pour 100m, et reste de 7% en deçà de 100m.

X.4 PROFIL EN LONG D'UNE BRETELLE

Les valeurs limites des paramètres du profil en long selon L'ICTAAL sont les suivantes :

Tableau X.2: Les valeurs limites des paramètres du profil en long.

Déclivité maximale	6%
Rayon minimal en angle saillant	1500 m
Rayon minimal en angle rentrant	800 m

X.5 PROFIL EN TRAVERS D'UNE BRETELLE :

La chaussée est bordée de part et d'autre par une bande dérasée de même structure qu'elle, et par une berme qui peut être intégrée au dispositif d'assainissement. Les largeurs des composantes du profil en travers selon L'ICTAAL sont les suivantes :

Tableau X. 3: Les largeurs des composantes du profil en travers.

Chaussée	Unidirectionnelle	3.50 m
	Bidirectionnelle	7.00 m
B.D. D		1.00 m
B.D. G		0.5 m

- Les chaussées des bretelles unidirectionnelles sont bordées d'une bande dérasée de droite de 1,00 mètre et une bande dérasée gauche de 0.5m.
- L'accotement de 1 mètres est aménagés pour offrir une largeur roulable minimale de 6 m, afin de permettre le dépassement d'un PL arrêté par un autre.
- Une surlargeur de 50/R dans une courbe se rayon inférieur a 100m.

Tableau X.4: Les largeurs et pentes transversales des composantes du profil en travers.

Élément se conception	Critère
Largeur de la voie de circulation unidirectionnelle Surlargeur dans une courbe de rayon inférieur a 100m B.D.D B.D. G Accotement	3.5 mètres 50/R mètres 1 mètres 0.5 mètres 1m
Pentes transversales en alignement et en courbes non déversées	
La chaussée	2.5%
B.D.D	Identique a la chaussée
B.D. G	Identique a la chaussée
Accotement	8%
Pentes en courbes déversée	
La chaussée	7%
B.D. D	7%
B.D. G	7%

X.6 Sortie depuis la voie principale :

On choisit la Sortie en déboîtement montré en figure ci-dessous :

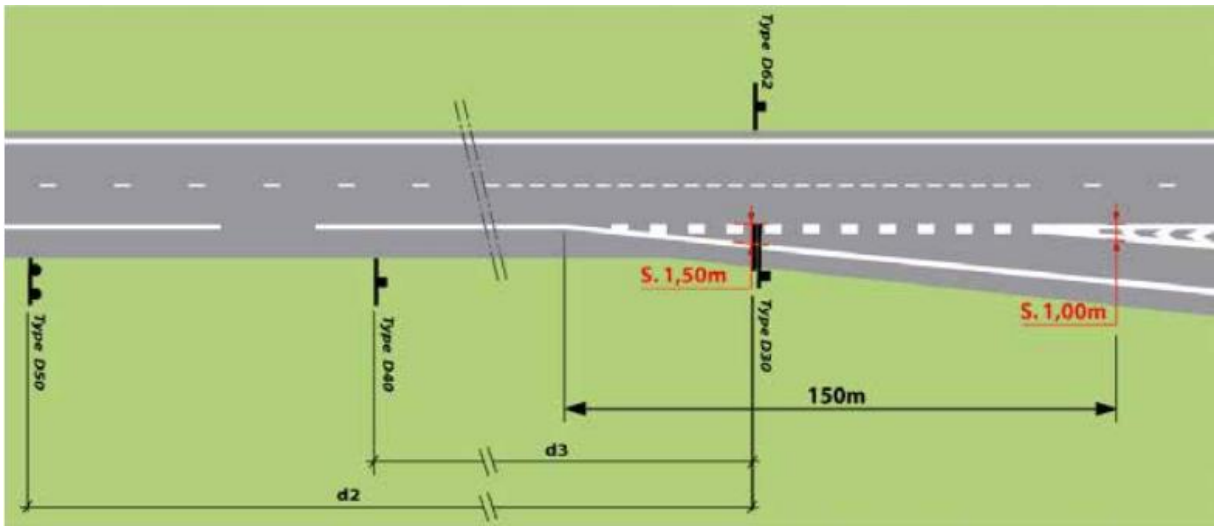


Figure X.5: Sortie en déboîtement.

X.6.1 Implantation de la signalisation directionnelle a la Sortie en déboîtement :

Le panneau de signalisation avancée de type D30 est implanté au point S.1,50 m, où l'usager doit changer de direction. Le panneau de pré-signalisation de type D40 est implanté à une distance d3 en amont de la signalisation avancée D30, de manière à permettre à l'usager d'effectuer son choix pour emprunter la voie qui le concerne. Le panneau de type D50 est implanté à une distance d2 en amont de la signalisation avancée D30.

Tableau X.5:pre-signalisation a la sortie en déboitement.

	Vitesse		
	90 km/h	110 km/h	130 km/h
Pré-signalisation D3	750 m	900 m	1000 m
Avertissement D2	1500 m	1800 m	2000 m

On a une vitesse V=130km/h ⟹ d3=1000 m et d2=2000 m.

X.6.2 La zone de décélération :

Doit permettre à l'usager de passer de la vitesse conventionnelle de 70 km/h au niveau du point S.1,00 m, à la vitesse associée au rayon de la première courbe rencontrée, selon une décélération en palier de 1,5 m/s². Elle est constituée des éléments géométriques compris entre le point S.1,00 m et le début de la partie circulaire de la courbe. Sa longueur minimale est donnée par la formule :

$$L_d = \frac{(V_S{}^2 - V_R{}^2)}{2(1.5+10P)}$$

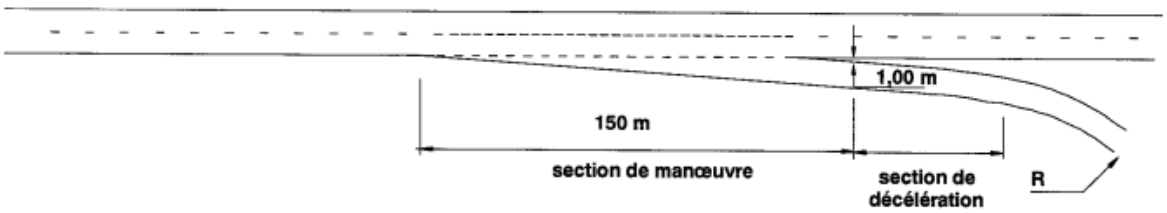


Figure X.6:dispositif de sortie de l'autoroute.

Avec :

• p la déclivité en valeur algébrique (exemple pour une pente de 5 %, p = - 0,05) ;

• Vs (en m/s) la vitesse conventionnelle au point S.1,00 m ;

• VR (en m/s) la vitesse cible dépendant du rayon de la première courbe aval

X.7 Entrée en insertion :

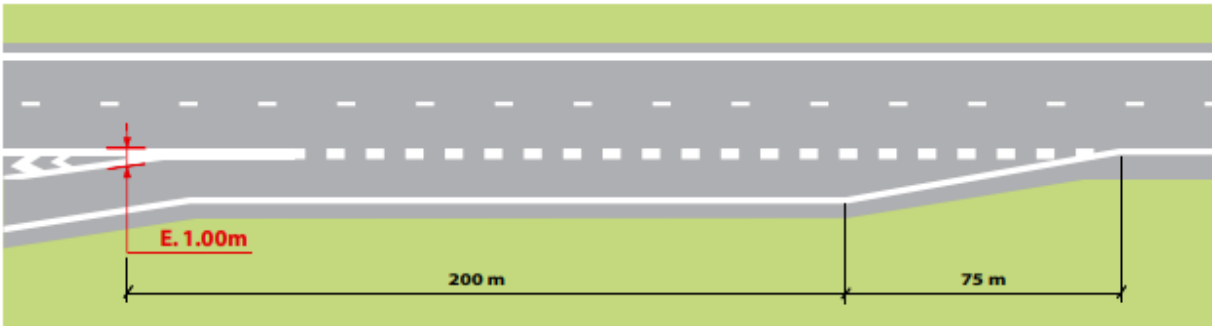


Figure X. 7: Entrée en insertion.

X.7.1 La zone d'accélération :

Doit permettre à l'usager de passer de la vitesse associée au rayon de la dernière courbe parcourue, à une vitesse conventionnelle de 55 km/h au niveau du point E.1,00 m, selon une accélération de 1m/s². Elle est constituée des éléments compris entre la fin de la partie circulaire de la dernière courbe et le point E.1,00 m. Sa longueur minimale est donnée par la formule :

$$L_a = \frac{(V_E^2 - V_R^2)}{2\,(1 - 10\,p)}$$

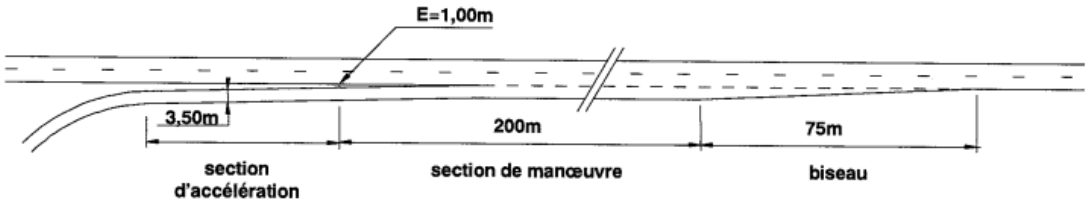


Figure X.8: Dispositif d'entrée sur l'autoroute.

X.8 Les impacts environnementaux de la construction d'un échangeur :

Par rapport au rond-point, les échangeurs augmentent fortement l'emprise au sol et la consommation d'espace (cultivable, habité ou supports d'habitants naturels). Par ailleurs, les échangeurs encouragent et facilitent la vitesse et donc la consommation de carburant et les émissions de gaz à effet de serre.

X.9 Vue en plan du notre échangeur :

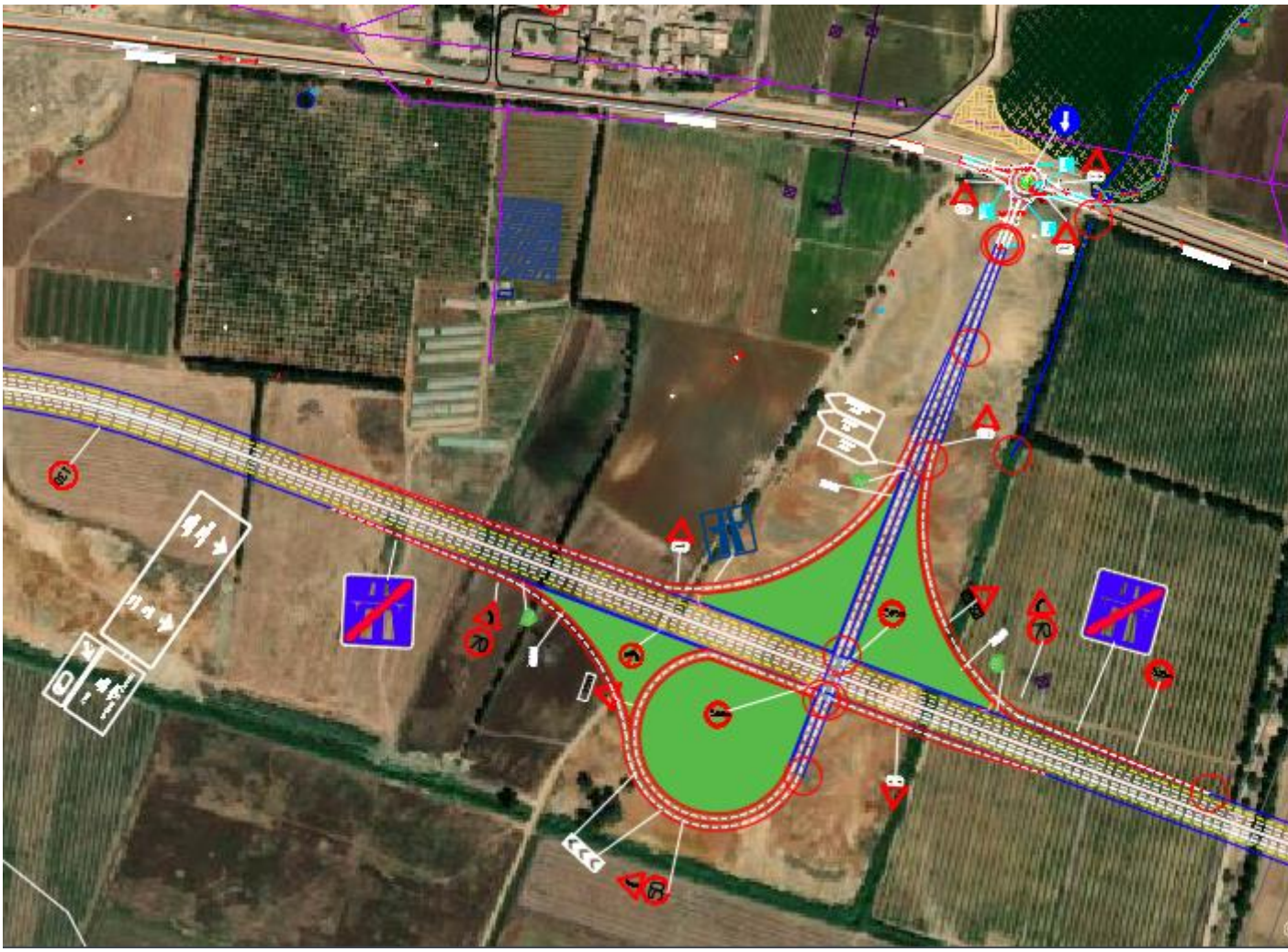


Figure X. 9:vue en plan de notre échangeur.

XI.1 Introduction:

Pour élaborer des routes, on rencontre différents obstacles tels que les oueds ou rivières, les montagnes, les chemins de fer et les routes. Pour les franchir, on construit des ouvrages artificiels, qui portent le nom : **Ouvrages d'Art.**

Les ouvrages d'art jouent un rôle important dans la construction et l'entretien des réseaux de transport modernes, assurant une circulation fluide et sécurisée des véhicules. Leur conception et leur construction requièrent une expertise approfondie, combinant à la fois des connaissances théoriques et une expérience pratique, ce qui fait de l'art de l'ingénieur un élément central dans leur réalisation.

Le choix de type de l'ouvrage repose sur plusieurs critères, tels que :

- La longueur et l'importance de l'ouvrage.
- La nature et l'agressivité du sol.
- Position des appuis et le nombre des appuis.
- Les conditions d'exécution et d'accès à l'ouvrage.

XI.2 Choix de type de pont :

XI.2.1 Variante n°1 : Pont à poutres en béton armé.

1. **Avantage :**

- Mise en œuvre et entretien faciles.
- Bonne résistance à la compression.
- Echafaudage réduit.
- Utilisation des éléments préfabriqués.

2. **Inconvénient :**

- Portée limitée.
- Risque de fissuration.

XI.2.2 Variante n°2 : Pont à poutres en béton précontraint.

1. **Avantage :**

- Possibilité d`avoir des portes plus importantes, et par conséquent une réduction des nombres d'appuis souvent très couteux
- Suppression des joints entre les travées, ce qui représente un confort pour les usagés
- Utilisation des éléments préfabriqués.

2. Inconvénient :

- Incertitude des déformations différées des poutres par fluage du béton et relaxation des armatures de précontrainte.
- Nécessité d'un matériel de mise en place des poutres très coûteux et d'une main d'œuvre qualifiée.
- Problème échafaudages.

XI.3 Présentation des ouvrages choisi :

a) Pont N1 :

L`ouvrage est en précontrainte (post-tension), qui franchit **Oued Fatis.**

Tableau XI. 1 : Caractéristique d'ouvrage 1.

	PK	LANGUEUR (m)	LARGEUR (m)	HAUTEUR DE GABARIT (m)	HAUTEUR TOTALE (m)
PONT N1	**33+420**	**22**	**32**	**6**	**7**

b) Pont N2 :

L`ouvrage est en précontraint (post-tension), un passage inferieure qui franchit la **RN67.**

Tableau XI. 2 : Caractéristique d'ouvrage 2.

	PK	LANGUEUR (m)	LARGEUR (m)	HAUTEUR DE GABARIT (m)	HAUTEUR TOTAL (m)
PONT N2	**37+220**	**40**	**15**	**5.25**	**7.5**

c) PONT N3 :

L`ouvrage est en précontraint (post-tension), On a au niveau de l'échangeur un passage supérieure.

Tableau XI. 3 : Caractéristique d'ouvrage 3.

PONT N3	**PK**	LANGUEUR (m)	LARGEUR (m)	HAUTEUR DE GABARIT (m)	HAUTEUR TOTAL (m)
	34+678	**40**	**12**	**5,25**	**7**

d) PONT N4 :

La route vers MAHELMA franchi l'autoroute par un pont en précontrainte (post-tension).

Tableau XI. 4 : Caractéristique d'ouvrage 4.

PONT N4	**PK**	LANGUEUR (m)	LARGEUR (m)	HAUTEUR DE GABARIT (m)	HAUTEUR TOTAL (m)
	38+356	**40**	**7**	**5,25**	**7**

e) Pont N5 :

L`ouvrage est en précontraint (post-tension), un passage inferieure qui franchit la **RN67.**

Tableau XI. 5 : Caractéristique d'ouvrage 5.

PONT N5	**PK**	LANGUEUR (m)	LARGEUR (m)	HAUTEUR DE GABARIT (m)	HAUTEUR TOTAL (m)
	39+851	**40**	**15**	**5.25**	**7.5**

XII.1 Introduction :

Le développement de la circulation à grande vitesse impose à l'ingénieur routier de réaliser une signalisation satisfaisante, qui doit provoquer chez l'automobiliste des réflexes instantanés.

Cette signalisation doit être homogène, rapidement visible et compréhensible, suffisante et non surabondante. Elle doit être établie aussi sérieusement et minutieusement que la signalisation ferroviaire.

XII.2 Principes de bases de la signalisation :

Uniformité : elle implique l'interdiction d'utiliser des signaux non réglementaires.

Homogénéité : elle exige que dans des conditions identiques, on utilise des signaux identiques (même type, même gamme, même implantation …).

Simplicité et valorisation : elles s'obtiennent en évitant la surabondance de panneaux qui nuit à l'efficacité de la signalisation.

Concentration : certains signaux doivent être vus en même temps quand ils se complètent. Il y a alors intérêt à les regrouper sur un même support.

Lisibilité : un usager ne peut pas assimiler trop d'informations en même temps. Il faut se limiter au strict nécessaire, ou répartir ces informations dans l'espace.

XII.3 Rôle de la signalisation routière :

- De rendre plus sûr et plus facile la circulation routière.
- De rappeler certaines prescriptions du code de la route.
- Donner des informations relatives à l'usager de la route.

XII.4 Catégorie de la signalisation :

On distingue :

- La signalisation par panneaux.
- La signalisation par feux.
- La signalisation par marquage des chaussées.
- La signalisation par balisage.
- La signalisation par bornage.

XII.5 Type de la signalisation :

XII.5.1 Signalisation horizontale :

XII.5.1.1 Les lignes longitudinales :

- Continues infranchissables.
- Discontinues axiales ou de délimitation des voies (types **T1** et **T'1** à forte prédominance des vides sur les pleins).
- Discontinues d'annonce d'une ligne continue ou de dissuasion remplaçant une ligne continue ou de délimitation des voies dans certains cas en agglomération (type **T3** à forte prédominance des pleins sur les vides).
- Discontinues de délimitation de la chaussée (types **T2** et **T'2** à vides et pleins approximativement équilibrés).
- Mixtes (ligne discontinue du type **T1** ou **T3** accolée à une ligne continue) qui ne peuvent être franchies que si, au début de la manœuvre de dépassement la ligne discontinue se trouve la plus proche du véhicule.
- Continue ou discontinues de délimitation de voies réservées à certaines catégories de véhicules ou de délimitation de bandes d'arrêt d'urgence (types **T2**, **T3** et **T4**).

XII.5.1.2 Les flèches : de rabattement.

XII.5.1.3 Les lignes transversales :

- Ligne discontinue **« CÉDEZ LE PASSAGE »**, d'effet des feux de signalisation, et de guidage en intersection.

XII.5.1.4 Caractéristiques générales des marques

- **Caractéristiques des lignes discontinues :**

Pour la bonne compréhension des marquages, trois types de modulations de lignes longitudinales ont été retenus, se différenciant par le rapport des pleins aux vides.

Ces modulations (tirets plus intervalles) sont des multiples ou des sous-multiples de 13 m.

Tableau XII. 1: Les caractéristiques de tous les types de lignes discontinues.

Type de marquage	Type de modulation	Langueur du trait (en m)	Intervalle entre 2 traits successives (en m)	Rapport plein/vide
Axial longitudinal	T1 T`2 T3	3 1.5 3	10 5 1.33	1/3 1/3 3
Rive	T2 T`3 T4	3 20 39	3.5 6 13	1 3 3
Transversal	t`2	0.5	0.5	1

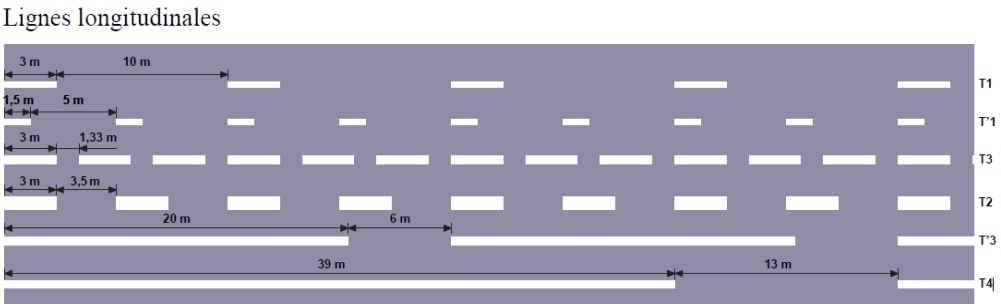


Figure XII. 1 : Largeur des lignes.

LA largeur des lignes est définie par rapport à une largeur unité **« u »** différente selon le type de route. On adopte les valeurs suivantes pour **« u »**.

- **u = 7,5 cm** sur les autoroutes, les routes à chaussées séparées, les routes à 4 voies de rase campagne.

La valeur de « u » doit être homogène sur tout un itinéraire. En particulier, elle ne doit pas varier au passage d'un département à l'autre.

- **Choix des modulations et largeurs des lignes :**

Les lignes de délimitation d`une autoroute :

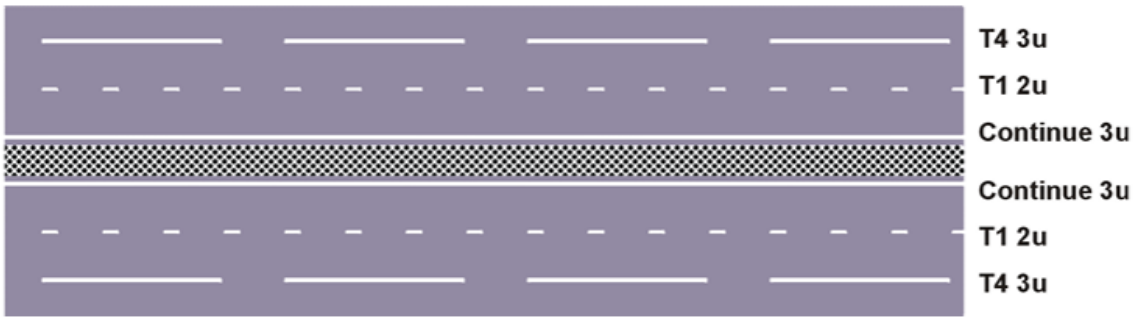


Figure XII. 2 : Les lignes de délimitation d`une autoroute.

Tableau XII. 2 : Les largeurs des modulations.

DESIGNATION DES MARQUES	MODULATION	LARGEUR
Ligne séparant les sens de circulation opposés sur les routes à trois voies.	CONTINUE	3**u**
Ligne axiale ou de délimitation de voie	T1	2**u**
Ligne de rive aux approches de certains carrefours et dans les bretelles de raccordement	T`3	3**u**
Ligne délimitant une bande d'arrêt d'urgence, en section courante (hors bretelles de raccordement) sur autoroutes et routes à chaussées séparées et à carrefours dénivelés	T4	**3u**
Ligne d'annonce d'une ligne continue	T3	**2u**

Sur les bretelles de raccordement, elle est de type **T'3** et de largeur **3u**. En l'absence de bande d'arrêt d'urgence, la ligne de rive est continue de largeur **3u**.

XII.5.2 Signalisation Verticale :

Elle se fait à l'aide de panneaux, qui transmettent des renseignements sur le trajet emprunté par l'usager à travers leur emplacement, leur couleur, et leur forme.

Elles peuvent être classées dans quatre classes :

XII.5.2.1 Signaux de danger :

Panneaux de forme triangulaire, ils doivent être placés à 150 m en avant de l'obstacle à signaler (signalisation avancée). Comme :

XII.5.2.2 Signaux comportant une prescription absolue :

Panneaux de forme circulaire, on trouve :

- L'interdiction.
- L'obligation.
- La fin de prescription.

XII.5.2.3 Signaux à simple indication :

Panneaux en général de forme rectangulaire, des fois terminés en pointe de flèche :

- Signaux d'indication.

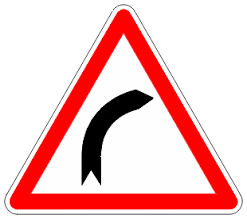
- Signaux de direction.
- Signaux de localisation.
- Signaux divers.

XII.5.2.4 Signaux de position des dangers :

Toujours implantés en pré signalisation, ils sont d'un emploi peu fréquent en milieu urbain.

❖ **Types de panneaux :**

- Panneau de signalisation d'avertissement de danger : **type A.**


- Panneau de signalisation d`intersection et de priorité : **type A et type B.**





- Panneau de signalisation d'interdiction ou de restriction : **type C.**







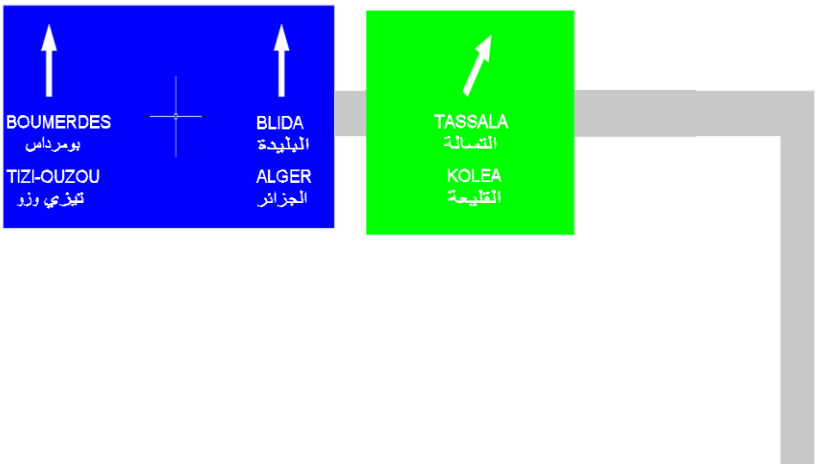


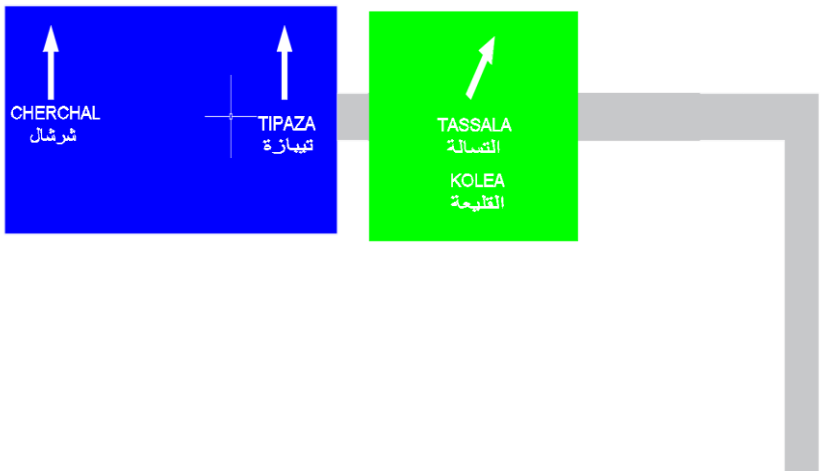
- Panneau de signalisation d'obligation : **type D.**





- Panneau de signalisation de direction : **type E/B.**





- Panneau de signalisation donnant des indications utiles pour la conduite des véhicules : **type E.**





- Panneau de signalisation spéciale (panneau de confirmation de direction des échangeurs).



XII.6 Conclusion :

En résumé, la signalisation autoroutière est un élément fondamental de la planification et de la gestion des autoroutes, assurant la sécurité et la fluidité des déplacements.

XIII.1 Introduction :

L'identification des impacts d'un projet routier est basée sur l'analyse des relations conflictuelles possibles entre le milieu traversé et l'infrastructure à implanter.

Cette analyse permet de mettre en relation les sources d'impact associées aux phases de pré-construction, de construction et d'exploitation de la nouvelle infrastructure et les différentes composantes du milieu susceptibles d'être affectées. Pour la réalisation de cette tâche, on distingue deux niveaux de conséquences environnementales :

Les impacts primaires : résultant directement de la réalisation et du fonctionnement des ouvrages et affectant physiquement le patrimoine naturel et humain formant l'environnement des zones concernées.

Les impacts secondaires : résultant des impacts primaires. Ils se manifestent sur le milieu naturel par la réduction du capital environnemental par destruction, prélèvement ou dégradation des 5 ressources principales : sol, eau, air, flore, faune.

Sur le plan humain, ces impacts sont ceux qui affecteront les conditions d'existence des populations sur 3 niveaux : activité économiques, activités socio- culturelles et qualité de vie.

XIII.2 Evaluation des impacts pendant la période de chantier

La phase de réalisation des travaux constitue la période au cours de laquelle se concrétise bon nombre de risques d'impact sur l'environnement. Ce chapitre analyse les impacts spécifiquement liés aux travaux et présentes les mesures envisagées pour les supprimés, les réduire voire les compenser.

XIII.2.1 Impact dû aux perturbations de la circulation

Le transport des équipements risque de perturber temporairement le trafic routier et pourrait provoquer des accidents de la circulation. Les impacts prévisibles liés au transport des équipements et à la circulation affecteront le sol et l'air ambiant.

XIII.2.2 Impacts liés aux travaux d'aménagement des sites :

Toutes les activités de construction seront effectuées dans une zone de travail. Cette zone de travail englobera les lieux d'implantations de l'ensemble d'ouvrages ainsi que leurs constructions :

- Les pistes d'accès à la construction de l'ensemble d'ouvrages ;
- Les zones de stockage des déblais des voiries.
- Les zones de travail.

Les installations de chantier comprennent :

- Les aires d'installations de chantiers.
- Les ateliers mécaniques.
- Les emplacements de stationnement des engins et de stockage des matériaux.
- Les zones de nettoyage des engins.

- Les centrales d'enrobage, de concassage, à béton, de traitement à la chaux et autres matériaux.

XIII.2.3 Impact dû à la pollution de l'air :

La pollution de l'air pendant la période de chantier sera caractérisée par une abondance de la poussière due essentiellement aux travaux de terrassements et des mouvements des engins de chantier.

Ces poussières vont affecter la qualité de l'air ambiant et il s'ensuivra :

- Une diminution de la visibilité
- Une élévation du taux de brouillard.
- Une retombée des poussières sur les zones proches des sites.

XIII.2.4 Impact dû à l'accroissement du bruit et vibrations :

- Bruit :

Les travaux de construction de la future autoroute sont générateurs d'émissions sonores et de vibrations dues aux machines et équipements lourds et légers nécessaires à la construction. Aussi, l'augmentation du trafic routier entraînera un niveau accru de bruit.

Les principales sources de nuisance acoustique durant les travaux sont les mêmes, quelles que soient les activités de travaux en cours (dégagement des emprises, terrassement...).

On citera principalement :

- Le bruit des différents engins (engins de démolition, engins de terrassement...) et celui des avertisseurs sonores.
- Le bruit de moteurs des compresseurs, groupes électrogènes...etc
- Le bruit des engins de défrichement et matériels divers (tronçonneuse...).

XIII.2.5 Impact sur l'agriculture :

Les impacts sur l'agriculture sont principalement liés au chantier de construction. En effet, la construction de l'autoroute entraîne des dommages aux cultures et une gêne pour les exploitants.

Ces dommages sont liés à la perte permanente de superficies agricoles.

Les pertes de récoltes, la compaction du sol, le mélange de sol arable et de sol inerte, l'érosion et l'interruption du drainage de surface.

XIII.2.6 Impacts sur la faune et la flore :

L'impact sur le couvert végétal au niveau de la zone d'étude concerne principalement les milieux boisés, L'abattage de ces arbres sera effectué de façon à éviter les dégâts aux autres voisins, plantations, cultures, constructions. Seuls seront abattus les arbres dont les fûts sont situés dans l'emprise de la piste de travail. Un élagage des basses branches peut s'avérer nécessaire pour les arbres en limite d'emprise.

L'enlèvement du couvert arbustif et forestier constitue une entrave au déplacement de la population animale, induisant la création de conditions d'appauvrissement génétique des populations isolées.

Outre le phénomène d'isolement de la population, l'autoroute provoque également un effet de substitution. Cet effet est lié à l'implantation du projet dans une partie du domaine vital des animaux ou de leur espace fonctionnel, les obligeant ainsi à rechercher des espaces aussi propices que leur biotope initial.

XIII.2.7 Impacts sur le milieu humain :

Par ailleurs, on note les nuisances reliées aux bruits et vibrations produits par les camions et les équipements lourds circulants en direction ou en provenance du chantier, à la poussière causée par les déplacements de ces véhicules sur le site, à la production de déchets, à l'augmentation des matières en suspension dans les eaux de surface.

XIII.2.8 Impacts liés aux infrastructures existantes :

L'implantation de la future autoroute aura un impact certain sur toutes les routes interceptées. Cet impact prend l'une des formes suivantes :

- Fermeture temporaire avec déviation pendant la construction.
- Fermeture partielle occasionnant des retards durant les travaux.

Par ailleurs, la construction du projet limitera localement la fluidité du trafic au niveau des routes interceptées par le tracé, avec des conséquences temporaires sur le transport des biens et services et des risques d'accidents de circulation plus élevés.

Les routes concernées par ces impacts sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

Tableau XIII. 1 : Routes traversé par l`autoroute.

PK	Désignation	Franchissement dénivelé
34+677	Echangeur	Passage supérieure
37+238	RN67	Passage inférieure
	CW	Passage inferieure

Les impacts liés aux infrastructures concernent essentiellement :

Les risques d'endommager, pendant les travaux, des infrastructures qui desservent la population locale et régionale (lignes de transport d'énergie électrique, conduite d'eau, conduites de gaz, etc.) ; l'interruption de routes, pistes.

Tableau XIII. 2 : Réseau de canalisation d`eau interceptée par l'autoroute.

PK début et **PK** fin	Type	Mesure à adopter
37+300 –3 7+360	ANBT (Ø1000)	Déplacement
37+634 – 37+686	ANBT (Ø1000)	Déplacement
37+900 – 37+980	ONID (Ø1500)	Déplacement
39+275 – 39+320	ONID (Ø1500)	Déplacement
39+794 – 39+818	ANBT (Ø1000)	Déplacement
39+863 – 39+891	ONID (Ø150)	Déplacement

Les pylônes dispersés constituent les contraintes majeures dans la conception du tracé en profil en long du projet.

Cependant, du fait que les pylônes d'une tension supérieure à 220kv ne peuvent pas être déplacés.

Tableau XIII. 3 : Réseau des lignes électrique en vue d'être déplacé.

Localisation (PK)	Type	Mesure à adopter
2+006	MT	Déplacement
2+021	MT	Elévation
7+362	MT	Déplacement
9+279	MT	Déplacement

La construction de l'autoroute se traduit par la coupure temporaire de ces réseaux, ce qui porte atteinte à la qualité de vie de la population riveraine. En outre, on note les coûts de réparation de ces réseaux.

XIII.2.9 Impacts potentiels durant la période d'exploitation :

XIII.2.9.1 Impact positif :

Un investissement de bonne rentabilité économique et représente un réel vecteur de relance en matière de développement agricole, industriel et touristique.

En effet, certains indices attestent de l'intérêt économique de cet axe qui desservira de larges couches de la population et participera au maintien et à l'évolution de l'emploi des régions traversées et à leur développement économique par l'amélioration de l'accessibilité aux zones d'activités et aux zones touristiques.

Cependant, l'autoroute permet :

- **Etablir un équilibre local :**

L'autoroute permet l'amélioration du réseau routier, ce qui favorisera les échanges entre les communes et permettra de rejoindre l'autoroute est ouest.

- **L'amélioration de la sécurité routière :**

Le transfert de trafic des routes nationales (RN67, CW46, CW201, ect.), vers l'autoroute qui présente de meilleures caractéristiques géométriques moins accidentelles implique l'amélioration de la sécurité routière.

- **Réduire le cout d'exploitation des véhicules :**

La qualité de la route pratiquée par le véhicule influence sur son état, dans ce sens, la qualité de l'autoroute qui répond aux normes internationales préserves d'avantage la durée de vie d'un véhicule et son amortissement, ce qui réduira sensiblement le cout de son exploitation.

XIII.2.9.2 Impact Négatifs :

- **Impact sur la qualité de l'air :**

Lorsque l'autoroute sera en exploitation, les résidents situés à proximité de la nouvelle emprise autoroutière seront susceptibles de ressentir les désagréments liés à la circulation automobile, qui se manifestent par des émissions atmosphériques polluantes résultant de la combustion du carburant et des échappements de gaz.

Les principaux polluants émis par les véhicules sont :

- Le monoxyde de carbone (CO).
- L'oxyde d'azote (NOx).
- Le dioxyde de souffre (SO2).

- **Impacts liés aux émissions sonores :**

La mise en service de l`autoroute aura comme impact permanent d'accroître les niveaux de bruit ambiant dans la zone d'étude.

Néanmoins, le tracé passe dans sa totalité par des zones urbanisées, ainsi, les nuisances sonores affecteront la population située proche de la pénétrante.

En outre, entre la situation actuelle et la mise en service de l'autoroute, le projet permettrait la diminution du niveau sonore pour une forte proportion des résidences situées en bordure du réseau routier actuel.

Lors de la mise en service, les véhicules prévus en circulation représentent une nuisance de bruit mobile.

Les paramètres permettant l'estimation des niveaux de bruit sont :

- **Le volume du trafic :** le volume du trafic est un facteur important pour l'estimation des niveaux de bruit.
- **La composition du trafic :** la composition du trafic est également un facteur important.

XIII.3 Conclusion :

En conclusion, bien que les autoroutes offrent des avantages en termes de mobilité et de connectivité, il est essentiel de prendre en compte de minimiser leurs impacts environnementaux pour assurer un développement durable et respectueux de l'environnement.

XIV.1 Devis quantitatif et estimatif :

Designation des Travaux	L`unite	La quantite	Prix par unite (DA)	Prix total (DA)
Installation du chantier	FORFAIT	**3% (3+4+5)**	**-**	**54 353 916.32**
1/-TOTAL			**54 353 916.32**	
Nettoyage d'emprise	**ha**	**35**	**900,000.00**	**201 600 000.00**
2/-TOTAL			**201 600 000.00**	
Déplacement des poteaux électriques de moyenne tension (MT).	**U**	**3**	**1 500 000.00**	**4 500 000.00**
Déplacement réseau de canalisation d`eau intercepté par l'autoroute (ANBT)	**U**	**3**	**300 000.00**	**900 000.00**
Déplacement réseau de canalisation d`eau intercepté par l'autoroute (ONID)	**U**	**3**	**300 000.00**	**900 000.00**
3/-TOTAL			**6 300 000.00**	

Décapage de la terre végétale e=25cm.	m^3	**87 500**	**390.00**	**34 125 000.00**
Transport et mise en place des remblais	m^3	**153 669.52**	**1 100.00**	**169 036 472.00**
Déblai meuble mis en dépôt	m^3	**496 606.60**	**500.00**	**275 892 560.00**
Déblai meuble mis en remblai	m^3	**55 178.52**	**690.00**	**38 073 178.00**
4/-TOTAL			**517 127 210.00**	
Couche de forme	m^3	**140 000**	**3 000.00**	**420 000 000.00**
Couche de foundation (EME2)	m^3	**31 500**	**11 000.00**	**346 500 000.00**
Couche de base (EME2)	m^3	**24 500**	**11 000.00**	**269 500 000.00**
Couche de roulement (BB)	m^3	**21 000**	**8 500.00**	**178 500 000.00**
Mise en Ouvre du berme	m^3	**5 200**	**600.00**	**3 120 000.00**

Couche d'imprégnation	m^2	**350 000**	**95.00**	**33 250 000.00**
Couche d'accrochage	m^2	**500 000**	**75.00**	**37 500 000.00**
5/-TOTAL			**1 288 370 000.00**	
Fossés trapézoïdaux en béton ep=50cm	ml	**20 000**	**6 200.00**	**124 000 000.00**
Buse Φ 2000 en beton	U	**1**	**550 000.00**	**550 000.00**
2 Dalots (3×3) en beton arme	m^3	**315**	**120 000.00**	**37 800 000.00**
2 Dalots (3,5×3,5) en beton arme	m^3	**428.75**	**150 000.00**	**64 312 500.00**
Dalot (2.5×2.5) en beton arme	m^3	**218.75**	**60 000.00**	**13 125 000.00**
Dalot (3×2.5) en beton arme	m^3	**262.5**	**90 000.00**	**23 625 000.00**
6/-TOTAL			**263 412 500.00**	

5 Ouvrages d`art (en precontrainte)	U	**5**	**300 000 000.00**	**1 500 000 000.00**
7/-TOTAL			**1 500 000 000.00**	
Ligne séparant les sens de circulation opposés sur les routes à trois voies. (CONTINUE)	ml	**20 000**	**570.00**	**11 400 000.00**
Ligne axiale ou de délimitation de voie. (T1)	ml	**7180**	**420.00**	**3 015 600.00**
Marquage de flèche de rabattement	**U**	**4**	**4 000.00**	**16 000.00**
Panneau type: A, AB, B, C, CE	**U**	**15**	**45 000.00**	**675 000.00**
Panneau de direction de type E/B	**U**	**2**	**300 000.00**	**600 000.00**
8/-TOTAL			**15 706 600.00**	
Barrière en béton extrudé de type DBA (double talon)	ml	**9 980**	**7 500.00**	**74 850 000.00**

Barrière en béton extrudé de type DBA (simple talon)	ml	**9 980**	**6 500.00**	**68 862 000.00**
9/-TOTAL			**143 134 000.00**	
Impact sur l'environnement	**FORFAIT**	**1% (3+4+5)**	**-**	**18 057 972.10**
10/-TOTAL			**18 057 972.10**	
Contrôle (Bureau d'Etudes et Laboratoire)	**FORFAIT**	**3% (3+4+5)**	**-**	**54 173 916.00**
11/-TOTAL			**54 173 916.00**	
TOTAL			**4 062 236 115.00**	
TVA (19%)			**771 824 861.00**	
Totale général (TTC)			**4 834 060 976.00**	

CONCLUSION GENERALE

Conclusion generale:

En résumé, ce projet de fin d'études a été une opportunité précieuse pour mettre en pratique nos connaissances théoriques et techniques acquises tout au long de notre formation à l'école nationale supérieure des travaux publics **(ENSTP)**. Il nous a confrontés aux défis techniques et administratifs inhérents à la réalisation d'un projet routier, nous offrant ainsi une expérience concrète du déroulement d'un tel projet, ainsi que de l'utilisation des logiciels spécialisés tels que **CIVIL 3D**, **AUTOCAD**, **GLOBAL MAPPER** et **EXEL**.

Dans le cadre de notre étude, nous avons rigoureusement appliqué les normes et directives du domaine routier pour éviter les contraintes rencontrées sur le terrain.

Notre priorité a été d'assurer le confort et la sécurité des usagers de la route, tout en tenant compte des aspects économiques et environnementaux liés à l'impact de ce projet.

Ce travail nous a permis de franchir un grand pas vers notre future carrière professionnelle, nous a donnes des compétences nécessaires pour contribuer de manière efficace et responsable au développement des infrastructures publiques.

BIBLIOGRAPHIE

- ICTAAL : INSTRUCTION SUR LES CONDITIONS TECHNIQUES D'AMÉNAGEMENT DES AUTOROUTES DE LIAISON 2000
- Catalogue Algerien de dimensionnement des chaussées neuves. Ministère des Travaux Publics / « CTTP». 2001.
- Catalogue Français de dimensionnement des chaussées.
- Guide des terrassements routiers GTR. SETRA – 1994.
- Cours Enstp 1ère et 2èmeannée de route de Mr Mahrez.
- Cours Enstp 2ème année de géotechnique routière Mr HAMADI KAMEL.
- Cours Enstp 2ème année d'hydraulique de Mr LEFKIR.
- Cours Enstp 2ème année de mécanique des sols de Mr BERRICHE.
- Thèses de route des années passée.
  Site web :
- https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89changeur_autoroutier
- http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/11715/11/Chapitre%202.pdf
- http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/11715/11/Chapitre%202.pdf
- https://www.envoituresimone.com/code-de-la-route/cours/route/voies/regles-de-circulation-sur-autoroute/echangeur
- https://www.reflexe-topo.fr/metier-competences/bureau-etudes-vrd/metres-et-calculs-de-cubatures/#:~:text=Le%20calcul%20de%20cubatures%20consiste,%C3%A0%20un%20profil%20de%20projet.
- https://genie-civile.blogspot.com/2013/03/cubatures-des-terrassements.html
- https://www.ingenieurs.com/documents/exposes/procedes-generaux-de-construction-des-echangeurs-autoroutiers-379.php#I.%20Description%20d'un%20%C3%A9changeur
- https://elearning.centre-univ-mila.dz/a2024/pluginfile.php/70770/mod_resource/content/1/Cours%20%20Tassement%20et%20consolidation%20des%20sols.pdf
- file:///C:/Users/DELL%20LATITUDE/Downloads/Tassement%20-%20cours%202024.pdf

ANNEXE CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DU CORP DE CHAUSSEE

TABLEAU : COUCHE DE FORME NON TRAITEE.

Classe de plate-forme visée	**Module EV2 ou E en MPa** (plaque ou dynaplaque)
PF1	la portance au moment de la réalisation des chaussées doit être au moins de 30 MPa.
PF2	50
PF3	120

TABLEAU : COUCHE DE FORME EN SOLS ARGILEUX OU LIMONS TRAITES EN PLACE.

Classe de plate-forme visée	**Module EV2 ou E en MPa** (plaque ou dynaplaque)
PF2	50 à 120
PF3	120 à 200
PF4	-

Tableau VI. 1 : Coefficient d'agressivité structurelle moyen du trafic.

Couche concernée ou type de structure	Classe de trafic Tci			
	TC0 - TC1	TC2	TC3	≥ TC4
Bitumineuse épaisse	0.4	0.5	0.5	0.5
Plate-forme	0.4	0.5	0.75	1

ANNEXE CHAPITRE IX : CALCUL DU TASSEMENT

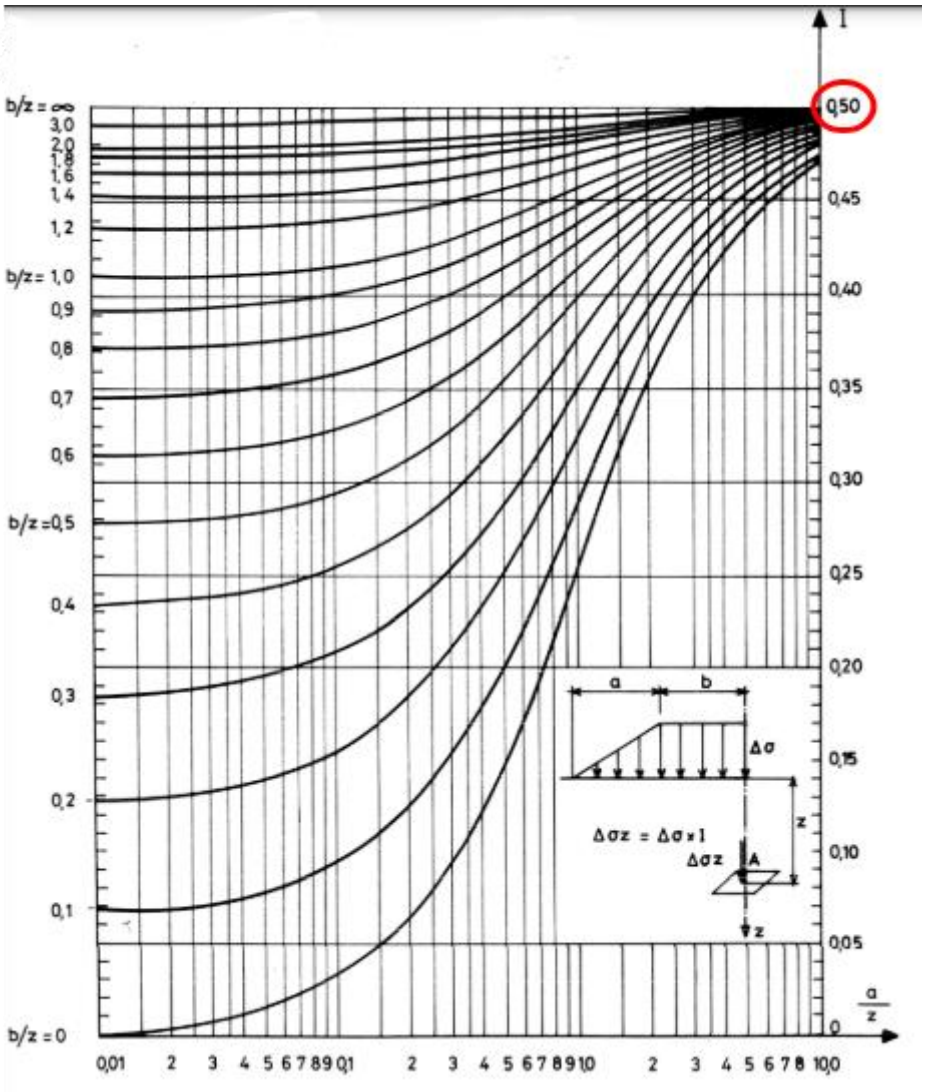


FIGURE : courbe d'Österberg

ANNEXE CHAPITRE V : ETUDE GEOTECHNQUE

Tableau V. 1 : Aperçu sur les normes des investigations in situ.

N°	Désignations	Normes	Objectifs
1	Puits de reconnaissance	XP P 94-011	Identification du sol en phase d'APD. Prélèvement des échantillons. Détermination de la portance du terrain (Essais CBR).
2	Sondages pressiométriques	NF P 94-110	Evaluer les caractéristiques de déformabilité des terrains ainsi que leur pression limite.
3	Sondages carottés	XP P 94-202	Identification d'un sol. Distinction des types de formation. Prélèvements des échantillons.

Tableau 4 : Aperçu sur les normes des investigations au laboratoire

Essais	Description	Norme	Objectif
D'identification physico-chimiques	Analyse granulométrique (tamisage à sec) AG	NF P 94-056	Répartition pondérale des éléments granulaires d'un matériau des terrassements.
	Analyse granulométrique par méthode de sédimentation	NF P 94-057	Détermination de la distribution pondérale
	Teneur en eau naturelle	NF P 94-050	Détermination de la teneur en eau d'un matériau
	Limites d'Atterberg	NF P 94-051	Détermination de l'argilosité d'un sol
	Teneur en CaSO4	NF P 18-011	Détermination de la teneur en sulfate – Degré d'agressivité du sol
	Teneur en CaCO30	NF P 94-048	Détermination de la teneur en carbonate – Méthode du calcimètre
	Détermination de la valeur de bleu d'un sol	NF P 94-068	Détermination de l'argilosité d'un matériau

	Masse volumique des particules solides d'un sol	NF P 94-054	Détermination de la masse volumique moyenne des particules solides de sol
	Masse volumique sèche d'une roche	NF P 94-064	Détermination de la masse volumique sèche d'un élément de roche
Essais routiers	Essai Proctor normal	NF P 94-093	Déterminer la masse volumique sèche d'un matériau et sa teneur en eau correspondante
	Indice CBR après immersion	NF P 94-078	Déterminer l'indice portant d'un échantillon de sol compacté dans un moule CBR avec une énergie Proctor Normal
Essais mécaniques des sols	Essai œdométrique	XP P 94-090-1	Etudier la compressibilité d'un échantillon de sol
	Essai de cisaillement	NF P 94-071-1	Mesure des paramètres de résistance au cisaillement rectiligne (cohésion et angle de frottement interne) d'un matériau
Essais mécaniques des roches	Essai Los Angeles (LA)	NF EN 1097-2	Mesure de la résistance d'une fraction granulaire à la fragmentation par chocs
	Essai Micro Deval humide (MDE)	NF EN 1097-1	Mesure de la résistance d'usure d'une fraction granulaire
	Essai de fragmentabilité (FG)	NF P 94-066	Mesure de la résistance de la roche sous la charge due au trafic routier
	Essai de dégradabilité (DG)	NF P 94-067	Qualifier la sensibilité du matériau rocheux aux sollicitations hydriques
	Essai de compression simple	NF P 98-301	Mesure de la résistance à la compression
	Essai de résistance à la traction	NF P 18-408	Mesure de la résistance à la traction

TABLEAU : Programme des essais au laboratoire sur les échantillons prélevés des puits de reconnaissance.

N° des puits	PK	Profondeur projetée de l'éch.(m)	Teneur en eau	An. granulo et sédimento-métrique	Limites d'Atterberg	Valeur au Bleu de Méthylène	Teneur en CaCO3	Essai de cisaillement UU	Proctor Normal	Proctor modifié	CBR immédiat	CBR imbibé
F29-R	30+200	0.40-3.30	x	x	x	x			x	x		x
F30-R	31+300	0.30-3.20	x	x	x	x			x	x	x	
F31-R	32+700	0.50-1.90	x	x	x	x			x	x		x
F32-R	33+700	0.00-3.50	x	x	x	x			x	x	x	
F33-R	34+600	0.00-2.00	x	x	x	x			x	x		x
F34-R	35+600	0.90-2.50	x	x	x	x			x	x	x	
F35-R	36+500	0.00-3.00	x	x	x	x			x	x		x
F36-R	37+900	0.00-2.00	x	x	x	x			x	x	x	
F37-R	38+600	0.00-2.70	x	x	x	x			x	x		x
F38-R	39+600	0.00-3.80	x	x	x	x			x	x		x
F39-R	40+800	0.00-3.50	x	x	x	x			x	x	x	

TABLEAU : Aperçu sur la localisation des puits de reconnaissance

N° des Puits	PK	X	Y	Profondeur projetées (m)	Zones
F29-R	30+200	483025	4053748	3.00	I : Retombée sud du Sahel d'Alger
F30-R	31+300	483859	4054575	3.00	I : Retombée sud du Sahel d'Alger
F31-R	32+700	485185	4055015	3.00	I : Retombée sud du Sahel d'Alger
F32-R	33+700	486068	4054774	3.00	I : Retombée sud du Sahel d'Alger
F33-R	34+600	487029	4054563	3.00	I : Retombée sud du Sahel d'Alger
F34-R	35+600	488048	4054474	3.00	I : Retombée sud du Sahel d'Alger
F35-R	36+500	488853	4054582	3.00	II : La plaine de la Mitidja centrale
F36-R	37+900	490076	4054068	3.00	II : La plaine de la Mitidja centrale
F37-R	38+600	490314	4053508	3.00	II : La plaine de la Mitidja centrale
F38-R	39+600	490531	4052446	3.00	II : La plaine de la Mitidja centrale
F39-R	40+800	490882	4051276	3.00	II : La plaine de la Mitidja centrale
F40-R	41+800	491385	4050517	3.00	II : La plaine de la Mitidja centrale

TABLEAU : Aperçu sur la localisation des sondages carottés projetés

N° des Puits	PK	X	Y	Profondeur projetées (m)	Zones
SC6-R+SPT	31+900	484391	4054858	10.00	I : Retombée sud du Sahel d'Alger
SC7-R+SPT	35+400	487800	4054436	10.00	I : Retombée sud du Sahel d'Alger
SC8-R+SPT	37+400	489759	4054434	10.00	II : La plaine de la Mitidja centrale
SC9-R+SPT	39+900	480598	4052154	10.00	II : La plaine de la Mitidja centrale

ANNEXE CHAPITRE VIII : CALCULE DES CUBATURES

Abscisse	Surface de déblai (m2)	Volume de déblai (m3)	Surface de remblai (m2)	Volume de remblai (m3)	Vol. déblai Cum. (m3)	Vol. remblai Cum. (m3)
0+000.000	0.00	0.00	97.98	0.00	0.00	0.00
0+025.000	0.00	0.00	99.33	2466.42	0.00	2466.42
0+050.000	0.00	0.00	96.75	2451.03	0.00	4917.46
0+075.000	0.00	0.00	98.11	2435.77	0.00	7353.23
0+100.000	0.00	0.00	97.49	2445.03	0.00	9798.26
0+125.000	0.00	0.00	102.57	2500.83	0.00	12299.09
0+150.000	0.00	0.00	103.13	2571.32	0.00	14870.41
0+175.000	0.00	0.00	100.07	2539.98	0.00	17410.40
0+200.000	0.00	0.00	96.29	2454.41	0.00	19864.81
0+225.000	0.00	0.00	94.29	2382.26	0.00	22247.07
0+250.000	0.00	0.00	85.70	2249.90	0.00	24496.97
0+275.000	0.00	0.00	74.28	1999.68	0.00	26496.65
0+300.000	0.00	0.00	67.24	1768.92	0.00	28265.57
0+325.000	0.00	0.00	63.01	1628.03	0.00	29893.61
0+350.000	0.00	0.00	60.17	1539.74	0.00	31433.34
0+375.000	0.00	0.00	53.54	1421.47	0.00	32854.82
0+400.000	0.18	2.20	47.57	1263.88	2.20	34118.70
0+425.000	0.73	11.37	38.29	1073.15	13.56	35191.85
0+450.000	0.74	18.37	34.23	906.52	31.93	36098.37
0+475.000	1.18	23.94	32.58	835.19	55.87	36933.56
0+500.000	1.77	36.82	27.14	746.52	92.69	37680.08
0+525.000	2.79	56.94	20.49	595.44	149.63	38275.52
0+550.000	3.68	80.87	16.35	460.55	230.50	38736.07
0+575.000	2.31	74.87	21.69	475.47	305.37	39211.54
0+600.000	4.03	79.23	9.18	385.81	384.60	39597.36
0+625.000	12.59	207.71	0.81	124.79	592.31	39722.15
0+650.000	25.46	475.54	0.00	10.08	1067.85	39732.23
0+675.000	15.71	514.60	0.42	5.22	1582.45	39737.45
0+700.000	24.39	501.31	0.00	5.22	2083.75	39742.67
0+725.000	31.14	694.21	0.00	0.00	2777.96	39742.67
0+750.000	34.65	822.40	0.00	0.00	3600.37	39742.67
0+775.000	40.27	936.46	0.00	0.00	4536.83	39742.67
0+800.000	48.28	1106.92	0.00	0.00	5643.75	39742.67
0+825.000	51.79	1250.95	0.00	0.00	6894.70	39742.67
0+850.000	57.39	1364.78	0.00	0.00	8259.47	39742.67
0+875.000	61.50	1486.19	0.00	0.00	9745.66	39742.67
0+900.000	66.83	1604.22	0.00	0.00	11349.88	39742.67
0+925.000	72.26	1738.70	0.00	0.00	13088.58	39742.67
0+950.000	77.33	1869.95	0.00	0.00	14958.53	39742.67

0+975.000	86.86	2052.39	0.00	0.00	17010.92	39742.67
1+000.000	89.00	2198.24	0.00	0.00	19209.15	39742.67
1+025.000	94.86	2298.28	0.00	0.00	21507.44	39742.67
1+050.000	99.41	2428.40	0.00	0.00	23935.84	39742.67
1+075.000	96.76	2452.15	0.00	0.00	26387.99	39742.67
1+100.000	91.37	2352.11	0.00	0.00	28740.10	39742.67
1+125.000	94.50	2322.27	0.00	0.00	31062.37	39742.67
1+150.000	100.44	2436.00	0.00	0.00	33498.38	39742.67
1+175.000	105.69	2576.21	0.00	0.00	36074.58	39742.67
1+200.000	119.85	2819.45	0.00	0.00	38894.04	39742.67
1+225.000	128.73	3108.74	0.00	0.00	42002.78	39742.67
1+250.000	134.06	3286.53	0.00	0.00	45289.31	39742.67
1+275.000	136.31	3381.08	0.00	0.00	48670.39	39742.67
1+300.000	145.57	3524.79	0.00	0.00	52195.18	39742.67
1+325.000	146.45	3650.23	0.00	0.00	55845.41	39742.67
1+350.000	139.83	3578.51	0.00	0.00	59423.92	39742.67
1+375.000	145.14	3562.10	0.00	0.00	62986.02	39742.67
1+400.000	148.64	3672.20	0.00	0.00	66658.22	39742.67
1+425.000	152.07	3758.89	0.00	0.00	70417.11	39742.67
1+450.000	159.99	3900.73	0.00	0.00	74317.84	39742.67
1+475.000	168.37	4104.41	0.00	0.00	78422.25	39742.67
1+500.000	176.54	4311.28	0.00	0.00	82733.54	39742.67
1+525.000	181.19	4471.56	0.00	0.00	87205.09	39742.67
1+550.000	181.90	4538.62	0.00	0.00	91743.71	39742.67
1+575.000	178.16	4500.72	0.00	0.00	96244.43	39742.67
1+600.000	183.26	4517.67	0.00	0.00	100762.10	39742.67
1+625.000	182.28	4569.21	0.00	0.00	105331.31	39742.67
1+650.000	180.64	4536.54	0.00	0.00	109867.84	39742.67
1+675.000	177.44	4475.98	0.00	0.00	114343.82	39742.67
1+700.000	169.40	4335.45	0.00	0.00	118679.27	39742.67
1+725.000	156.75	4076.88	0.00	0.00	122756.15	39742.67
1+750.000	149.07	3822.72	0.00	0.00	126578.88	39742.67
1+775.000	139.34	3605.05	0.00	0.00	130183.92	39742.67
1+800.000	124.85	3302.37	0.00	0.00	133486.30	39742.67
1+825.000	113.37	2977.78	0.00	0.00	136464.08	39742.67
1+850.000	99.42	2659.87	0.00	0.00	139123.95	39742.67
1+875.000	96.56	2449.81	0.00	0.00	141573.77	39742.67
1+900.000	102.54	2488.80	0.00	0.00	144062.57	39742.67
1+925.000	107.48	2625.25	0.00	0.00	146687.81	39742.67
1+950.000	108.48	2699.50	0.00	0.00	149387.32	39742.67
1+975.000	71.68	2251.97	0.00	0.00	151639.28	39742.67
2+000.000	52.71	1554.87	0.00	0.00	153194.15	39742.67
2+025.000	37.71	1130.25	0.00	0.00	154324.40	39742.67
2+050.000	38.75	948.75	0.00	0.00	155273.15	39742.67
2+075.000	52.22	1125.05	0.00	0.00	156398.21	39742.67

2+100.000	58.07	1360.87	0.00	0.00	157759.08	39742.67
2+125.000	46.52	1287.91	0.00	0.00	159046.98	39742.67
2+150.000	37.69	1036.38	0.10	1.29	160083.36	39743.96
2+175.000	31.50	851.90	0.08	2.29	160935.27	39746.25
2+200.000	28.51	738.78	0.04	1.52	161674.05	39747.77
2+225.000	32.18	747.00	0.03	0.95	162421.04	39748.72
2+250.000	36.24	842.32	0.09	1.53	163263.36	39750.25
2+275.000	36.38	894.06	0.17	3.25	164157.42	39753.50
2+300.000	37.68	911.95	0.02	2.41	165069.38	39755.91
2+325.000	36.24	911.23	0.00	0.26	165980.60	39756.16
2+350.000	33.47	862.25	0.00	0.00	166842.85	39756.16
2+375.000	35.37	855.36	0.00	0.00	167698.21	39756.16
2+400.000	36.69	900.79	0.00	0.00	168599.00	39756.16
2+425.000	32.48	864.67	0.00	0.00	169463.67	39756.16
2+450.000	39.32	897.50	0.00	0.00	170361.18	39756.16
2+475.000	35.56	936.04	0.00	0.00	171297.21	39756.16
2+500.000	36.10	895.82	0.00	0.00	172193.04	39756.16
2+525.000	33.11	865.14	0.00	0.00	173058.17	39756.16
2+550.000	29.26	779.54	0.00	0.00	173837.71	39756.16
2+575.000	31.05	753.79	0.00	0.00	174591.50	39756.16
2+600.000	31.58	782.83	0.00	0.00	175374.33	39756.16
2+625.000	26.99	732.17	0.00	0.00	176106.50	39756.16
2+650.000	27.84	685.43	0.00	0.00	176791.93	39756.16
2+675.000	31.13	737.08	0.00	0.00	177529.01	39756.16
2+700.000	37.18	853.81	0.00	0.00	178382.82	39756.16
2+725.000	37.07	928.14	0.00	0.00	179310.96	39756.16
2+750.000	28.84	823.91	1.31	16.41	180134.86	39772.57
2+775.000	26.70	694.29	2.53	48.04	180829.15	39820.61
2+800.000	25.40	651.24	3.37	73.80	181480.39	39894.41
2+825.000	29.96	692.00	1.76	64.24	182172.39	39958.65
2+850.000	31.57	769.19	1.47	40.48	182941.58	39999.13
2+875.000	30.54	768.24	3.24	59.68	183709.82	40058.80
2+900.000	30.22	747.81	3.67	87.91	184457.63	40146.72
2+925.000	29.33	729.12	5.24	113.78	185186.74	40260.50
2+950.000	28.59	705.78	7.53	163.50	185892.53	40424.00
2+975.000	31.57	733.11	5.38	165.22	186625.63	40589.22
3+000.000	41.10	887.77	2.04	94.95	187513.40	40684.17
3+025.000	40.17	994.10	1.32	43.04	188507.50	40727.21
3+050.000	38.47	961.55	1.64	37.86	189469.05	40765.07
3+075.000	33.73	883.92	2.26	49.79	190352.97	40814.86
3+100.000	28.43	763.76	3.77	76.75	191116.73	40891.61
3+125.000	25.38	663.70	4.04	98.98	191780.43	40990.58
3+150.000	24.94	628.91	3.75	97.34	192409.34	41087.92
3+175.000	22.63	594.61	1.95	71.23	193003.95	41159.15
3+200.000	22.55	564.76	2.81	59.46	193568.71	41218.61

3+225.000	25.17	596.52	1.62	55.34	194165.23	41273.95
3+250.000	26.55	646.51	0.09	21.39	194811.75	41295.34
3+275.000	31.01	719.54	0.00	1.11	195531.29	41296.45
3+300.000	34.46	818.43	0.00	0.00	196349.71	41296.45
3+325.000	40.12	932.21	0.00	0.00	197281.92	41296.45
3+350.000	44.80	1061.45	0.00	0.00	198343.37	41296.45
3+375.000	43.75	1106.92	0.00	0.00	199450.29	41296.45
3+400.000	41.51	1065.76	0.00	0.00	200516.05	41296.45
3+425.000	4.16	570.81	46.08	575.96	201086.86	41872.41
3+450.000	16.83	262.31	77.60	1545.99	201349.16	43418.40
3+475.000	62.35	989.75	0.00	970.03	202338.91	44388.43
3+500.000	67.85	1627.49	0.00	0.00	203966.41	44388.43
3+525.000	82.10	1874.36	0.00	0.00	205840.77	44388.43
3+550.000	82.24	2054.24	0.00	0.00	207895.01	44388.43
3+575.000	74.31	1956.85	0.00	0.00	209851.87	44388.43
3+600.000	69.34	1795.60	0.00	0.00	211647.47	44388.43
3+625.000	64.13	1671.31	0.00	0.00	213318.78	44388.43
3+650.000	69.11	1666.69	0.00	0.00	214985.47	44388.43
3+675.000	77.66	1827.33	0.00	0.00	216812.80	44388.43
3+700.000	76.64	1912.76	0.00	0.00	218725.56	44388.43
3+725.000	75.88	1884.44	0.00	0.00	220610.00	44388.43
3+750.000	78.31	1902.27	0.00	0.00	222512.27	44388.43
3+775.000	70.70	1836.69	0.00	0.00	224348.97	44388.43
3+800.000	56.64	1564.82	0.08	1.07	225913.79	44389.50
3+825.000	42.32	1210.93	2.94	38.72	227124.72	44428.22
3+850.000	32.84	916.11	7.50	133.71	228040.83	44561.93
3+875.000	24.47	696.23	16.21	303.30	228737.06	44865.22
3+900.000	21.81	561.40	11.57	355.12	229298.46	45220.35
3+925.000	24.56	564.52	6.73	233.89	229862.98	45454.24
3+950.000	41.18	808.49	0.07	86.95	230671.47	45541.19
3+975.000	94.58	1692.66	0.00	0.94	232364.13	45542.13
4+000.000	173.50	3362.73	0.00	0.00	235726.87	45542.13
4+025.000	239.43	5180.91	0.00	0.00	240907.78	45542.13
4+050.000	283.73	6558.48	0.00	0.00	247466.26	45542.13
4+075.000	291.20	7192.45	0.00	0.00	254658.71	45542.13
4+100.000	246.03	6704.38	0.00	0.00	261363.09	45542.13
4+125.000	192.49	5468.33	0.00	0.00	266831.43	45542.13
4+150.000	116.49	3849.86	0.00	0.00	270681.29	45542.13
4+175.000	60.81	2216.28	0.00	0.00	272897.56	45542.13
4+200.000	39.12	1249.18	6.84	85.52	274146.74	45627.65
4+225.000	14.96	676.05	20.44	341.06	274822.79	45968.71
4+250.000	4.27	240.39	37.94	729.78	275063.18	46698.49
4+275.000	1.76	75.35	38.40	954.24	275138.53	47652.73
4+300.000	3.51	65.84	44.99	1042.44	275204.37	48695.17
4+325.000	2.66	77.15	42.52	1093.98	275281.52	49789.15

4+350.000	5.89	106.95	30.30	910.34	275388.47	50699.49
4+375.000	9.28	189.66	22.90	665.03	275578.13	51364.52
4+400.000	19.64	361.46	15.87	484.62	275939.59	51849.15
4+425.000	40.14	747.22	3.34	240.19	276686.81	52089.34
4+450.000	89.57	1621.33	0.00	41.81	278308.14	52131.14
4+475.000	148.66	2977.88	0.00	0.00	281286.02	52131.14
4+500.000	174.62	4041.02	0.00	0.00	285327.04	52131.14
4+525.000	190.77	4567.41	0.00	0.00	289894.45	52131.14
4+550.000	160.11	4386.09	0.00	0.00	294280.55	52131.14
4+575.000	121.13	3515.59	0.00	0.00	297796.13	52131.14
4+600.000	97.30	2730.41	0.00	0.00	300526.54	52131.14
4+625.000	64.27	2019.62	0.00	0.00	302546.16	52131.14
4+650.000	28.56	1160.41	4.17	52.11	303706.57	52183.25
4+675.000	14.07	532.97	13.31	218.49	304239.54	52401.74
4+700.000	8.80	285.95	16.04	366.84	304525.48	52768.58
4+725.000	8.61	217.69	23.44	493.46	304743.17	53262.04
4+750.000	3.42	150.37	30.60	675.45	304893.54	53937.49
4+775.000	1.45	60.79	36.83	842.81	304954.32	54780.30
4+800.000	2.36	47.54	34.89	896.43	305001.86	55676.73
4+825.000	11.43	172.36	8.26	539.26	305174.23	56215.99
4+850.000	39.91	641.76	0.00	103.20	305815.99	56319.18
4+875.000	55.81	1196.50	0.00	0.00	307012.49	56319.18
4+900.000	68.70	1556.45	0.00	0.00	308568.93	56319.18
4+925.000	70.95	1745.67	0.00	0.00	310314.61	56319.18
4+950.000	77.98	1861.59	0.00	0.00	312176.20	56319.18
4+975.000	74.91	1911.07	0.00	0.00	314087.27	56319.18
5+000.000	74.94	1873.04	0.00	0.00	315960.31	56319.18
5+025.000	80.04	1937.14	0.00	0.00	317897.45	56319.18
5+050.000	94.55	2182.28	0.00	0.00	320079.73	56319.18
5+075.000	97.81	2404.41	0.00	0.00	322484.14	56319.18
5+100.000	98.63	2455.47	0.00	0.00	324939.61	56319.18
5+125.000	106.15	2559.81	0.00	0.00	327499.42	56319.18
5+150.000	110.08	2702.86	0.00	0.00	330202.28	56319.18
5+175.000	116.10	2827.24	0.00	0.00	333029.52	56319.18
5+200.000	119.83	2949.17	0.00	0.00	335978.69	56319.18
5+225.000	117.92	2971.93	0.00	0.00	338950.62	56319.18
5+250.000	108.88	2835.06	0.00	0.00	341785.68	56319.18
5+275.000	89.63	2481.42	0.00	0.00	344267.10	56319.18
5+300.000	67.49	1963.98	0.00	0.00	346231.09	56319.18
5+325.000	41.58	1363.35	0.00	0.00	347594.44	56319.18
5+350.000	15.41	712.44	2.96	37.02	348306.88	56356.20
5+375.000	4.76	252.17	15.78	234.24	348559.05	56590.44
5+400.000	1.58	79.32	28.71	556.15	348638.38	57146.60
5+425.000	0.40	24.76	39.36	850.88	348663.14	57997.48
5+450.000	0.00	4.96	49.06	1105.26	348668.10	59102.74

5+475.000	0.00	0.00	65.35	1430.20	348668.10	60532.94
5+500.000	0.00	0.00	74.52	1748.34	348668.10	62281.28
5+525.000	0.00	0.00	80.96	1943.49	348668.10	64224.78
5+550.000	0.00	0.00	83.24	2052.52	348668.10	66277.30
5+575.000	0.00	0.00	78.41	2020.60	348668.10	68297.91
5+600.000	0.00	0.00	77.67	1951.05	348668.10	70248.96
5+625.000	0.00	0.00	77.09	1934.50	348668.10	72183.46
5+650.000	0.00	0.00	75.92	1912.54	348668.10	74096.00
5+675.000	0.00	0.00	62.01	1724.08	348668.10	75820.07
5+700.000	0.24	2.98	47.80	1372.57	348671.08	77192.64
5+725.000	0.87	13.92	33.26	1013.17	348685.00	78205.81
5+750.000	4.82	71.18	16.63	623.66	348756.18	78829.47
5+775.000	15.62	255.45	1.97	232.56	349011.63	79062.03
5+800.000	35.68	641.22	0.00	24.62	349652.85	79086.65
5+825.000	42.31	974.93	0.00	0.00	350627.79	79086.65
5+850.000	57.82	1251.66	0.00	0.00	351879.45	79086.65
5+875.000	80.92	1734.24	0.00	0.00	353613.68	79086.65
5+900.000	102.37	2291.14	0.00	0.00	355904.82	79086.65
5+925.000	121.82	2802.34	0.00	0.00	358707.16	79086.65
5+950.000	131.22	3162.88	0.00	0.00	361870.04	79086.65
5+975.000	137.35	3357.10	0.00	0.00	365227.14	79086.65
6+000.000	135.54	3411.21	0.00	0.00	368638.35	79086.65
6+025.000	127.25	3284.89	0.00	0.00	371923.24	79086.65
6+050.000	118.57	3072.69	0.00	0.00	374995.93	79086.65
6+075.000	110.04	2857.65	0.00	0.00	377853.58	79086.65
6+100.000	101.74	2647.24	0.00	0.00	380500.82	79086.65
6+125.000	93.40	2439.22	0.00	0.00	382940.04	79086.65
6+150.000	87.78	2264.82	0.00	0.00	385204.86	79086.65
6+175.000	83.59	2142.15	0.00	0.00	387347.01	79086.65
6+200.000	78.12	2021.33	0.00	0.00	389368.34	79086.65
6+225.000	76.83	1936.85	0.00	0.00	391305.19	79086.65
6+250.000	71.46	1853.56	0.00	0.00	393158.75	79086.65
6+275.000	62.53	1674.77	0.00	0.00	394833.52	79086.65
6+300.000	50.81	1416.67	0.00	0.00	396250.19	79086.65
6+325.000	40.34	1139.39	0.42	5.24	397389.58	79091.89
6+350.000	34.03	929.69	4.52	61.67	398319.26	79153.56
6+375.000	24.17	727.56	7.35	148.36	399046.82	79301.92
6+400.000	13.72	473.71	18.77	326.54	399520.53	79628.46
6+425.000	9.70	292.84	10.20	362.12	399813.37	79990.58
6+450.000	5.75	193.11	18.10	353.77	400006.48	80344.35
6+475.000	4.16	123.88	19.31	467.59	400130.36	80811.94
6+500.000	2.84	87.59	25.07	554.70	400217.95	81366.65
6+525.000	1.42	53.32	34.18	740.61	400271.27	82107.26
6+550.000	0.61	25.41	43.18	966.95	400296.68	83074.21
6+575.000	0.21	10.28	57.39	1257.13	400306.96	84331.34

6+600.000	0.00	2.67	69.77	1589.51	400309.63	85920.85
6+625.000	0.00	0.00	75.19	1812.01	400309.63	87732.86
6+650.000	0.00	0.00	82.55	1971.78	400309.63	89704.64
6+675.000	0.00	0.00	87.33	2123.47	400309.63	91828.11
6+700.000	0.00	0.00	83.24	2132.08	400309.63	93960.20
6+725.000	0.00	0.00	85.43	2108.33	400309.63	96068.52
6+750.000	0.00	0.00	75.80	2015.39	400309.63	98083.91
6+775.000	0.00	0.00	71.96	1847.09	400309.63	99931.00
6+800.000	0.00	0.00	69.70	1770.81	400309.63	101701.81
6+825.000	0.25	3.09	57.91	1595.09	400312.72	103296.90
6+850.000	0.60	10.64	50.86	1359.56	400323.36	104656.46
6+875.000	0.73	16.37	48.92	1250.32	400339.73	105906.79
6+900.000	1.10	22.33	45.92	1189.62	400362.06	107096.41
6+925.000	1.24	28.47	40.39	1083.28	400390.53	108179.68
6+950.000	2.50	45.53	32.48	915.37	400436.06	109095.05
6+975.000	3.32	70.89	27.74	757.46	400506.95	109852.51
7+000.000	4.68	97.47	20.18	603.39	400604.43	110455.90
7+025.000	6.94	141.74	12.77	415.48	400746.17	110871.38
7+050.000	12.54	238.40	5.51	231.11	400984.56	111102.49
7+075.000	23.28	440.91	1.03	82.82	401425.47	111185.31
7+100.000	28.51	640.49	0.00	12.98	402065.96	111198.29
7+125.000	43.15	895.71	0.00	0.00	402961.67	111198.29
7+150.000	64.97	1351.46	0.00	0.00	404313.13	111198.29
7+175.000	92.62	1969.84	0.00	0.00	406282.96	111198.29
7+200.000	103.96	2457.25	0.00	0.00	408740.21	111198.29
7+225.000	104.29	2603.08	0.00	0.00	411343.29	111198.29
7+250.000	113.65	2724.17	0.00	0.00	414067.46	111198.29
7+275.000	114.84	2856.09	0.00	0.00	416923.56	111198.29
7+300.000	104.13	2737.11	0.00	0.00	419660.67	111198.29
7+325.000	98.26	2529.86	0.00	0.00	422190.53	111198.29
7+350.000	77.64	2198.79	0.00	0.00	424389.32	111198.29
7+375.000	52.18	1622.83	0.00	0.00	426012.15	111198.29
7+400.000	28.14	1004.08	0.00	0.00	427016.23	111198.29
7+425.000	9.51	470.70	3.21	40.10	427486.93	111238.39
7+450.000	3.26	159.70	15.66	235.88	427646.63	111474.27
7+475.000	2.73	74.90	17.51	414.62	427721.53	111888.89
7+500.000	4.99	96.50	11.96	368.39	427818.02	112257.28
7+525.000	8.35	166.79	1.70	170.86	427984.81	112428.13
7+550.000	15.92	303.41	0.22	24.07	428288.22	112452.21
7+575.000	19.88	447.55	0.00	2.77	428735.77	112454.98
7+600.000	24.07	549.44	0.00	0.00	429285.20	112454.98
7+625.000	17.51	519.79	0.44	5.54	429804.99	112460.52
7+650.000	12.28	372.37	2.55	37.47	430177.37	112497.99
7+675.000	13.38	320.66	4.27	85.36	430498.03	112583.35
7+700.000	9.06	280.50	10.88	189.44	430778.52	112772.79

7+725.000	6.59	195.65	20.46	391.74	430974.17	113164.53
7+750.000	4.97	144.50	23.85	553.88	431118.67	113718.41
7+775.000	4.66	120.39	35.71	744.47	431239.06	114462.88
7+800.000	1.12	72.30	74.98	1383.51	431311.35	115846.39
7+825.000	0.03	14.49	84.29	1990.88	431325.84	117837.28
7+850.000	3.03	38.31	11.61	1198.82	431364.16	119036.10
7+875.000	14.56	219.88	2.57	177.26	431584.04	119213.35
7+900.000	18.27	410.36	2.53	63.73	431994.40	119277.08
7+925.000	29.11	592.20	0.00	31.60	432586.59	119308.68
7+950.000	41.68	884.82	0.00	0.00	433471.42	119308.68
7+975.000	58.83	1256.35	0.00	0.00	434727.77	119308.68
8+000.000	74.66	1668.64	0.00	0.00	436396.41	119308.68
8+025.000	90.14	2059.99	0.00	0.00	438456.40	119308.68
8+050.000	102.53	2408.36	0.00	0.00	440864.76	119308.68
8+075.000	111.71	2686.54	0.00	0.00	443551.29	119308.68
8+100.000	115.43	2847.98	0.00	0.00	446399.28	119308.68
8+125.000	116.82	2911.82	0.00	0.00	449311.10	119308.68
8+150.000	105.21	2783.03	0.00	0.00	452094.13	119308.68
8+175.000	105.22	2635.75	0.00	0.00	454729.88	119308.68
8+200.000	109.40	2686.55	0.00	0.00	457416.44	119308.68
8+225.000	108.33	2725.79	0.00	0.00	460142.22	119308.68
8+250.000	117.07	2817.51	0.00	0.00	462959.74	119308.68
8+275.000	117.88	2936.85	0.00	0.00	465896.59	119308.68
8+300.000	115.27	2914.35	0.00	0.00	468810.94	119308.68
8+325.000	107.43	2783.82	0.00	0.00	471594.76	119308.68
8+350.000	104.57	2650.08	0.00	0.00	474244.84	119308.68
8+375.000	91.09	2445.73	0.00	0.00	476690.56	119308.68
8+400.000	76.25	2091.72	0.00	0.00	478782.28	119308.68
8+425.000	60.16	1705.08	0.00	0.00	480487.36	119308.68
8+450.000	30.31	1130.79	0.00	0.00	481618.16	119308.68
8+475.000	12.70	537.55	1.91	23.83	482155.71	119332.51
8+500.000	6.06	234.46	10.38	153.61	482390.17	119486.12
8+525.000	3.01	113.39	30.63	512.63	482503.56	119998.76
8+550.000	0.89	48.73	42.04	908.32	482552.28	120907.08
8+575.000	0.00	11.11	62.59	1307.88	482563.40	122214.96
8+600.000	2.27	28.35	20.39	1037.30	482591.75	123252.26
8+625.000	26.69	361.96	0.00	254.90	482953.71	123507.15
8+650.000	80.07	1334.52	0.00	0.00	484288.24	123507.15
8+675.000	119.38	2493.12	0.00	0.00	486781.36	123507.15
8+700.000	128.77	3101.83	0.00	0.00	489883.18	123507.15
8+725.000	114.42	3039.89	0.00	0.00	492923.07	123507.15
8+750.000	96.91	2641.64	0.00	0.00	495564.71	123507.15
8+775.000	74.66	2144.65	0.00	0.00	497709.36	123507.15
8+800.000	61.40	1700.78	0.00	0.00	499410.15	123507.15
8+825.000	69.39	1646.64	0.00	0.00	501056.78	123507.15

8+850.000	87.25	1974.37	0.00	0.00	503031.15	123507.15
8+875.000	105.85	2432.62	0.00	0.00	505463.77	123507.15
8+900.000	116.91	2804.31	0.00	0.00	508268.07	123507.15
8+925.000	116.57	2938.89	0.00	0.00	511206.96	123507.15
8+950.000	107.29	2817.18	0.00	0.00	514024.15	123507.15
8+975.000	93.55	2527.19	0.00	0.00	516551.34	123507.15
9+000.000	84.18	2235.14	0.00	0.00	518786.48	123507.15
9+025.000	71.84	1961.43	0.00	0.00	520747.90	123507.15
9+050.000	52.17	1560.16	0.00	0.00	522308.06	123507.15
9+075.000	31.99	1059.16	0.00	0.00	523367.22	123507.15
9+100.000	12.77	562.80	0.42	5.33	523930.02	123512.49
9+125.000	1.12	174.73	26.32	335.52	524104.75	123848.01
9+150.000	0.00	14.24	59.36	1073.93	524118.98	124921.94
9+175.000	0.00	0.00	98.31	1973.15	524118.98	126895.09
9+200.000	0.00	0.00	100.66	2487.07	524118.98	129382.16
9+225.000	0.00	0.00	86.50	2338.35	524118.98	131720.51
9+250.000	0.00	0.00	97.68	2302.03	524118.98	134022.54
9+275.000	0.00	0.00	106.45	2553.15	524118.98	136575.68
9+300.000	0.00	0.00	101.01	2596.31	524118.98	139171.99
9+325.000	0.00	0.00	79.05	2254.07	524118.98	141426.07
9+350.000	0.00	0.00	71.22	1882.95	524118.98	143309.02
9+375.000	0.00	0.00	63.25	1686.35	524118.98	144995.36
9+400.000	0.00	0.00	71.58	1691.29	524118.98	146686.66
9+425.000	0.00	0.00	75.84	1847.63	524118.98	148534.28
9+450.000	0.00	0.00	87.42	2042.14	524118.98	150576.42
9+475.000	0.18	2.22	42.55	1626.96	524121.21	152203.39
9+500.000	1.11	16.17	27.94	884.94	524137.37	153088.32
9+525.000	12.35	169.44	2.81	386.25	524306.81	153474.57
9+550.000	32.29	563.08	0.00	35.44	524869.89	153510.02
9+575.000	26.35	739.52	0.00	0.00	525609.42	153510.02
9+600.000	11.43	476.30	6.38	79.78	526085.71	153589.79
9+625.000	34.88	578.86	0.00	79.73	526664.58	153669.52
9+650.000	37.09	899.58	0.00	0.00	527564.16	153669.52
9+675.000	47.34	1055.44	0.00	0.00	528619.59	153669.52
9+700.000	44.77	1151.44	0.00	0.00	529771.03	153669.52
9+725.000	41.85	1082.75	0.00	0.00	530853.79	153669.52
9+750.000	37.61	993.30	0.00	0.00	531847.09	153669.52
9+775.000	41.30	986.48	0.00	0.00	532833.57	153669.52
9+800.000	47.12	1105.34	0.00	0.00	533938.91	153669.52
9+825.000	54.34	1268.26	0.00	0.00	535207.17	153669.52
9+850.000	75.04	1617.20	0.00	0.00	536824.37	153669.52
9+875.000	70.98	1825.23	0.00	0.00	538649.60	153669.52
9+900.000	79.10	1876.02	0.00	0.00	540525.62	153669.52
9+925.000	91.83	2136.59	0.00	0.00	542662.20	153669.52
9+950.000	113.45	2565.96	0.00	0.00	545228.16	153669.52

9+975.000	133.08	3081.65	0.00	0.00	548309.81	153669.52
10+000.000	144.94	3475.31	0.00	0.00	551785.12	153669.52

ANNEXE CHAPITRE IV : ETUDE GEOMETRIQUE

Profil en long : LIGNE PROJET
Plage d'abscisse : Début : -0009.09, Fin : 10304.09
LONGUEUR DE L'AXE : 10313.180m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0014.40	16.717
PAR0	S= 0154.36 Z=19.033			
	R= 13000.000	279.937		
			0294.33	18.335
D1	PENTE= -0.50%	678.123		
			0972.45	14.953
PAR1	S= 0975.00 Z=14.941			
	R= 15000.000	5.090		
			0977.55	14.929
D2	PENTE= -0.46%	560.962		
			1538.51	12.322
PAR2	S= 1590.00 Z=12.083			
	R= 15000.000	102.986		
			1641.49	12.197
D3	PENTE= 0.22%	355.286		
			1996.78	12.985
PAR3	S= 1997.92 Z=12.988			
	R= 13000.000	2.286		

			1999.06	12.990
D4	PENTE= 0.24%	528.238		
			2527.30	14.255
PAR4	S= 2556.88 Z=14.326			
	R= 13000.000	59.163		
			2586.47	14.262
D5	PENTE= -0.22%	846.787		
			3433.25	12.436
PAR5	S= 3437.75 Z=12.426			
	R= 5000.000	9.003		
			3442.26	12.408
D6	PENTE= -0.40%	289.233		
			3731.49	11.264
PAR6	S= 3760.37 Z=11.150			
	R= 5000.000	57.766		
			3789.25	11.369
D7	PENTE= 0.76%	230.124		
			4019.38	13.117
PAR7	S= 4060.00 Z=13.425			
	R= 13000.000	81.242		
			4100.62	13.480
D8	PENTE= 0.13%	650.189		
			4750.81	14.356
PAR8	S= 4760.00 Z=14.368			
	R= 5000.000	18.380		

			4769.19	14.347
D9	PENTE= -0.23%	404.682		
			5173.87	13.404
PAR9	S= 5239.86 Z=13.250			
	R= 6000.000	131.985		
			5305.86	14.548
D10	PENTE= 1.97%	53.135		
			5358.99	15.593
PAR10	S= 5460.00 Z=17.580			
	R= 7051.837	202.015		
			5561.01	16.673
D11	PENTE= -0.90%	330.888		
			5891.90	13.702
PAR11	S= 6070.00 Z=12.102			
	R= 13636.152	356.208		
			6248.10	15.156
D12	PENTE= 1.71%	282.373		
			6530.48	19.996
PAR12	S= 6659.04 Z=22.200			
	R= 13000.000	257.129		
			6787.61	21.862
D13	PENTE= -0.26%	464.783		
			7252.39	20.636
PAR13	S= 7310.00 Z=20.485			
	R= 5000.000	115.222		

			7367.61	21.660
D14	PENTE= 2.04%	290.046		
			7657.66	27.580
PAR14	S= 7817.74 Z=30.847			
	R= 13000.000	320.172		
			7977.83	30.171
D15	PENTE= -0.42%	305.386		
			8283.22	28.882
PAR15	S= 8360.00 Z=28.558			
	R= 5000.000	153.569		
			8436.78	30.593
D16	PENTE= 2.65%	88.972		
			8525.76	32.950
PAR16	S= 8570.00 Z=34.122			
	R= 5000	88.487		
			8614.24	33.747
D17	PENTE= -0.85%	117.506		
			8731.75	32.753
PAR17	S= 8786.38 Z=32.290			
	R= 5000.000	109.257		
			8841.01	33.021
D18	PENTE= 1.34%	117.550		
			8958.56	34.595
PAR18	S= 9063.56 Z=36.000			
	R= 9028.017	209.999		

			9168.56	34.963
D19	PENTE= -0.99%	1135.536		
			10304.09	23.748

La géométrie de l'axe en plan

Axe en plan : AUTOROUTE 3EME
Plage d'abscisse : Début : 0000.00, Fin: 10000.00

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0000.00	481483.6982	4052479.5398
DR1	ANG=51.7713 (g)	1004.327			
			1004.33	482213.3460	4053169.6747
CLO2	A=333.167				
	R=1000.000	111.000			
			1115.33	482295.3740	4053244.4346
ARC3	XC=482941.1774				
	YC=4052480.9309				
	R=1000.000	146.883			
			1262.21	482414.0706	4053330.7300
CLO4	A=333.167				
	R=1000.000	111.000			
			1373.21	482510.4849	4053385.7019
DR5	ANG=68.1886 (g)	583.927			
			1957.14	483023.0154	4053665.4938
CLO6	A=297.993				
	R=800.000	111.000			

			2068.14	483119.1670	4053720.9068
ARC7	XC=482688.0897				
	YC=4054394.8299				
	R=800.000	254.231			
			2322.37	483308.1609	4053889.3482
CLO8	A=297.993				
	R=800.000	111.000			
			2433.37	483374.2296	4053978.5147
DR9	ANG=39.1245 (g)	363.522			
			2796.89	483583.8378	4054275.5212
CLO10	A=282.489				
	R=600.000	133.000			
			2929.89	483664.4430	4054381.2212
ARC11	XC=484113.3839				
	YC=4053983.1609				
	R=600.000	125.919			
			3055.81	483757.2199	4054466.0141
CLO12	A=282.489				
	R=600.000	133.000			
			3188.81	483869.7273	4054536.8080
DR13	ANG=66.5966 (g)	356.269			
			3545.08	484178.0688	4054715.2819
CLO14	A=282.489				
	R=600.000	133.000			
			3678.08	484295.4949	4054777.5780

ARC15	XC=484536.7863				
	YC=4054228.2344				
	R=600.000	395.551			
			4073.63	484682.5445	4054810.2606
CLO16	A=282.489				
	R=600.000	133.000			
			4206.63	484808.7540	4054768.5372
DR17	ANG=122.6776 (g)	971.427			
			5178.06	485719.1968	4054429.7687
ARC18	XC=486277.1695				
	YC=4055929.3241				
	R=1600.000	499.570			
			5677.63	486206.8119	4054330.8718
DR19	ANG=102.8003 (g)	1078.017			
			6755.64	487283.7861	4054283.4676
CLO20	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			6888.64	487416.7283	4054280.5661
ARC21	XC=487394.2179				
	YC=4055280.3127				
	R=1000.000	159.529			
			7048.17	487575.2551	4054296.8364
CLO22	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			7181.17	487704.8363	4054326.6820

DR23	ANG=84.1774 (g)	753.395			
			7934.57	488435.0814	4054512.0097
CLO24	A=399.500				
	R=1200.000	133.000			
			8067.57	488564.5593	4054542.3355
ARC25	XC=488794.8705				
	YC=4053364.6442				
	R=1200.000	142.571			
			8210.14	488705.7745	4054561.3321
CLO26	A=399.500				
	R=1200.000	133.000			
			8343.14	488838.6635	4054566.3005
DR27	ANG=98.7969 (g)	366.015			
			8709.15	489204.6128	4054573.2172
CLO28	A=345.977				
	R=900.000	133.000			
			8842.15	489337.5783	4054572.4553
ARC29	XC=489288.1118				
	YC=4053673.8157				
	R=900.000	718.392			
			9560.54	489966.1637	4054265.6312
CLO30	A=345.977				
	R=900.000	133.000			
			9693.54	490048.5609	4054161.2706
DR31	ANG=159.0206 (g)	306.456			

			10000.00	490232.4843	4053916.1427